

Docket No.: 67161-130

**PATENT**

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of	:	Customer Number: 20277
	:	
Yoshikazu NAGAMURA, et al.	:	Confirmation Number:
	:	
Serial No.:	:	Group Art Unit:
	:	
Filed: November 17, 2003	:	Examiner:
	:	
For:		PHOTOMASK, AND METHOD AND APPARATUS FOR PRODUCING THE SAME

**CLAIM OF PRIORITY AND  
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Mail Stop CPD  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

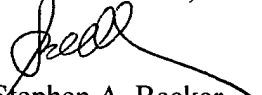
In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

**Japanese Patent Application No. 2003-024125(P), filed January 31, 2003**

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY

  
Stephen A. Becker  
Registration No. 26,527

600 13<sup>th</sup> Street, N.W.  
Washington, DC 20005-3096  
(202) 756-8000 SAB:mcw  
Facsimile: (202) 756-8087  
**Date: November 17, 2003**

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

67161-130

NAGAMURA et al

November 17, 2003

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2003年 1月31日

出 願 番 号

Application Number:

特願2003-024125

[ST.10/C]:

[JP2003-024125]

出 願 人

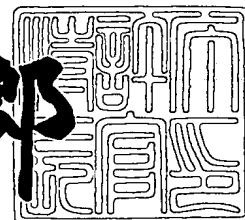
Applicant(s):

三菱電機株式会社  
凸版印刷株式会社

2003年 3月 7日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3014244

【書類名】 特許願

【整理番号】 543373JP01

【提出日】 平成15年 1月31日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/027

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社  
社内

【氏名】 永村 美一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社  
社内

【氏名】 丹下 耕志

【発明者】

【住所又は居所】 東京都台東区台東1丁目5番1号 凸版印刷株式会社内

【氏名】 林 甲季

【発明者】

【住所又は居所】 東京都台東区台東1丁目5番1号 凸版印刷株式会社内

【氏名】 池田 英広

【特許出願人】

【識別番号】 000006013

【氏名又は名称】 三菱電機株式会社

【特許出願人】

【識別番号】 000003193

【氏名又は名称】 凸版印刷株式会社

【代理人】

【識別番号】 100064746

【弁理士】

【氏名又は名称】 深見 久郎

【選任した代理人】

【識別番号】 100085132

【弁理士】

【氏名又は名称】 森田 俊雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100083703

【弁理士】

【氏名又は名称】 仲村 義平

【選任した代理人】

【識別番号】 100096781

【弁理士】

【氏名又は名称】 堀井 豊

【選任した代理人】

【識別番号】 100098316

【弁理士】

【氏名又は名称】 野田 久登

【選任した代理人】

【識別番号】 100109162

【弁理士】

【氏名又は名称】 酒井 將行

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 008693

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 フォトマスク、フォトマスクの製造方法、およびフォトマスクの製造装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 透明基板と、

該透明基板に設けられた半透明膜または遮光膜と、

該半透明膜または遮光膜が完全に良好に形成された場合の完成パターンを仮定した場合に、該完成パターンのうち欠損した部分である白欠陥部と、

該白欠陥部内に設けられた透過率が 0 % ~ 2 % または 2 % ~ 6 % の遮光部と、

該遮光部の周辺部分に形成され、前記遮光部より透過率が大きな半透明部とを備えた、フォトマスク。

【請求項 2】 前記遮光部は、前記透明基板の主表面に垂直な方向から見て、前記完成パターンの外周縁の内側の領域から外側の領域にわたるように形成された、請求項 1 に記載のフォトマスク。

【請求項 3】 前記半透明部は、透過率の異なる複数種類の部分を含む、請求項 1 に記載のフォトマスク。

【請求項 4】 透明基板と、

該透明基板に設けられた半透明膜または遮光膜と、

該半透明膜または遮光膜が完全に良好に形成された場合の完成パターンを仮定した場合に、該完成パターンのうち欠損した部分である欠陥部と、

該欠陥部およびその近傍に設けられた半透明部とを備えた、フォトマスク。

【請求項 5】 前記半透明部の透過率が、前記半透明膜の透過率よりも大きい、請求項 4 に記載のフォトマスク。

【請求項 6】 請求項 1 に記載のフォトマスクの製造方法であって、前記遮光部は、F I B 照射により堆積された第 1 の堆積膜であり、前記半透明部は、F I B 照射により堆積された、前記第 1 の堆積膜よりも膜厚が小さい第 2 の堆積膜である、フォトマスクの製造方法。

【請求項 7】 請求項 1 に記載のフォトマスクの製造方法であって、前記半透明部は、F I B 照射により前記透明基板に金属イオンが注入されることにより

形成される、フォトマスクの製造方法。

【請求項 8】 前記半透明部は、前記 F I B 照射によって、前記透明基板がエッチングされることにより形成される、請求項 7 に記載のフォトマスクの製造方法。

【請求項 9】 露光波長を  $\lambda$  とし、かつ、透明基板の光の屈折率を  $n$  として

前記半透明部の前記 F I B 照射によるエッチング深さ  $d$  が、実質的に  $d = \lambda / 2 (n - 1)$  の偶数倍になるように、前記 F I B 照射の条件が設定された、請求項 8 に記載のフォトマスクの製造方法。

【請求項 10】 前記 F I B 照射は、チャンバ内において行われ、

前記 F I B 照射を用いた金属イオン注入により前記半透明部を形成する際に、前記チャンバ内の雰囲気中に前記透明基板のエッチングを抑制するガスを注入する、請求項 7 に記載のフォトマスクの製造方法。

【請求項 11】 請求項 1 に記載のフォトマスクの製造方法であって、前記半透明部または前記遮光部は、F I B 照射が用いられて、前記透明基板の表面が粗面化されることにより形成される、フォトマスクの製造方法。

【請求項 12】 請求項 1 に記載のフォトマスクの製造方法であって、

前記遮光部は、レーザ C V D により堆積された第 1 の堆積膜であり、  
前記半透明部は、レーザ C V D により堆積された、前記第 1 の堆積膜よりも膜厚が小さい第 2 の堆積膜である、フォトマスクの製造方法。

【請求項 13】 透明基板と、該透明基板に設けられた半透明膜または遮光膜とを備えているフォトマスクの製造方法であって、

該半透明膜または遮光膜が完全に良好に形成された完成パターンの外周よりもはみ出した部分である黒欠陥部が形成された場合に、前記黒欠陥部分およびその近傍を除去する工程と、

前記黒欠陥部およびその近傍が除去された部分の前記透明基板に半透明部を形成する工程とを備えた、フォトマスクの製造方法。

【請求項 14】 透明基板上に半透明膜または第 1 遮光膜が形成されたフォトマスクの白欠陥を修正する欠陥修正装置であって、

前記半透明膜または遮光膜のパターンの位置、形状および寸法を検出する検出器と、

該検出器により検出されたパターンと本来形成されるはずのパターンが完全に形成された場合の仮想パターンとを比較する比較手段と、

該比較手段の比較結果によって認識した前記パターンに発生した前記白欠陥部の修正に必要な領域に F I B ビームまたはレーザビームを照射する照射源と、

前記白欠陥部内に、透過率がほぼ 0 % ~ 2 % または 2 % ~ 6 % の第 2 遮光膜を堆積させるためのガスを供給するガス供給機構と、

前記 F I B ビームまたはレーザビームが前記フォトマスクに照射される位置を制御する制御手段とを備え、

該制御手段は、前記第 1 遮光膜を堆積した後、該第 1 遮光膜の周辺部分に、前記第 1 遮光膜より透過率が大きな半透明部を形成するように、前記透明基板に前記 F I B ビームまたはレーザビームを照射する制御を実行するプログラムが内蔵されている、フォトマスクの製造装置。

【請求項 1 5】 透明基板上に半透明膜または遮光膜が形成されたフォトマスクの黒欠陥を修正する欠陥修正装置であって、

前記半透明膜または第 1 遮光膜のパターンの位置、形状および寸法を検出する検出器と、

該検出器により検出されたパターンと本来形成されるはずのパターンが完全に形成された場合の仮想パターンとを比較する比較手段と、

該比較手段の比較結果によって認識した前記パターンに発生した黒欠陥部の修正に必要な領域に F I B ビームまたはレーザビームを照射する照射源と、

前記 F I B ビームまたはレーザビームが前記フォトマスクに照射される位置を制御する制御手段とを備え、

該制御手段は、前記黒欠陥およびその近傍の前記半透明膜または前記遮光膜が除去された部分に、前記半透明膜または前記遮光膜よりも透過率が大きな半透明部を形成するように、前記透明基板に前記 F I B ビームまたはレーザビームを照射する制御を実行するプログラムが内蔵されている、フォトマスクの製造装置。

【発明の詳細な説明】

## 【 0 0 0 1 】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、リソグラフィ工程で用いるフォトマスク、フォトマスクの製造方法およびフォトマスクの製造装置に関するものである。

## 【 0 0 0 2 】

## 【従来の技術】

従来より、半導体装置のリソグラフィ工程においては、透明基板の表面に遮光パターン（半透明膜）が形成されたフォトマスクが用いられている。このフォトマスクの遮光膜パターンには、パターン欠けまたはピンホールというような白欠陥（Clear Defect）が生じる場合がある。

## 【 0 0 0 3 】

この場合には、有機ガスの雰囲気中で白欠陥部分に F I B（Focused Ion Beam）を照射することにより白欠陥部分の修正が行われている。この修正によれば、リソグラフィ工程においてフォトマスクを使用する際の露光波長に対して透過率がほぼ 0 % のカーボン膜が、白欠陥部分に堆積（デポジション）される。そのカーボン膜により、白欠陥部分が修正されている。

## 【 0 0 0 4 】

たとえば、248 nm の露光波長で使用する 150 nm デザインサイズのデバイス用ハーフトーン（以下、「HT（Half Tone）」という。）マスクの白欠陥の修正においては、加速電圧が 20 KeV である F I B 照射装置を用いて波長 248 nm の光に対して約 1 % 以下の透過率を達成する膜厚のカーボン膜が形成される。しかしながら、この F I B 照射装置の修正加工精度、すなわち、白欠陥部分に形成するカーボン膜の位置精度は、せいぜい狙い位置から ± 50 nm 程度の範囲内である。

## 【 0 0 0 5 】

これに対して、130 nm デザインサイズのデバイス用 HT マスクでは、ウェハ上のパターン寸法変動を許容範囲内に抑えるために必要な白欠陥部分の修正加工精度は、狙い寸法から約 ± 30 nm の範囲内である。そのため、上記の F I B 照射装置では十分な加工精度は得られない。その結果、白欠陥の修正部分がウェ



ハ上に転写されたパターンの位置、寸法および形状に関しては、デバイスの性能に悪影響が生じる程度の転写誤差が生じている。たとえば、配線パターンであれば、断線等が生じてしまう。

【0006】

そこで、上記のFIB照射装置に代わり、新たな白欠陥の修正装置が開発されている。その修正装置では、加速電圧が30KeVに向上されているため、ビーム径がより小さくなっている。その結果、白欠陥の修正の加工精度が改善されている。したがって、白欠陥の修正部分がウェハ上に転写されパターンの位置、寸法および形状に、デバイスの性能に悪影響が生じる程度の転写誤差は生じていない。

【0007】

【特許文献1】

特開平7-219211号公報

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

HTマスクは、HT膜を透過する光の位相と透明基板の石英透過部分を透過する光の位相とを180°反転させる位相効果を利用して、HT膜のパターンエッジ部分の光強度の輪郭を際立たせている。つまり、HT膜を透過する光と透明基板の石英透過部分を透過する光との干渉を利用して、HT膜のパターンと透明基板の石英透過部分のパターンとの間のパターンの解像度を向上させている。

【0009】

そのため、前述の欠陥の修正方法のように、位相効果を利用することができない透過率がほぼ0%のカーボン膜を用いて白欠陥を修正する場合には、HT膜を使用するときのようなパターンの解像度が得られない。

【0010】

また、フォトマスク上のパターンとそのフォトマスク上のパターンがウェハ上に転写されたパターンとの間には、位置、寸法および形状の転写誤差が生じる。この転写誤差の範囲に基づいて、フォトマスク上のパターンの修正部の位置、寸法および形状に許容されるマージンである加工精度許容マージンが決定される。

上記の修正装置では、この修正部分には遮光膜が用いられる。そのため、加工精度許容マージンは、修正部分にHT膜が用いられる場合に比較して小さくなる。

【0011】

さらに、半導体装置のパターンの微細化およびウェハ露光波長の短波長化のために、フォトマスク上の遮光パターン自体の位置、寸法および形状の加工精度である寸法変動許容マージンが小さくなっている。それにとまって、前述の修正部分の加工精度許容マージンもさらに小さくなる。その結果、前述の欠陥修正装置の修正部分の加工精度では、HTマスクの修正に必要とされる加工精度を満たすことができなくなる。

【0012】

以上のように、従来のHTマスク上の白欠陥の修正方法では、欠陥修正部分に位相効果を利用することができない透過率が露光波長に対してほぼ0%のカーボン膜を堆積することにより、白欠陥を修正している。そのため、修正部分の加工精度許容マージンが小さくなる。それにより、フォトマスク上に形成されるカーボン膜の位置精度、エッジ形状および裾引きに起因して、ウェハ上に転写されたデバイスパターンの寸法および形状の転写誤差が、半導体デバイスの性能に大きな悪影響をもたらすという問題がある。

【0013】

本発明は、上述のような問題に鑑みてなされたものであり、その目的は、HTマスクの欠陥修正において、欠陥の修正部分の加工精度許容マージンを大きくすることができるフォトマスク、そのフォトマスクの製造方法、およびそのフォトマスクの製造装置を提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】

本発明の第1の局面のフォトマスクは、透明基板と、透明基板に設けられた半透明膜または遮光膜と、半透明膜または遮光膜が完全に良好に形成された場合の完成パターンを仮定した場合に、該完成パターンのうち欠損した部分である白欠陥部とを備えている。また、そのフォトマスクは、白欠陥部内に設けられた透過率が0%~2%または2%~6%の遮光部と、遮光部の周辺部分に形成され、前

記遮光部より透過率が大きな半透明部とを備えている。

【 0 0 1 5 】

上記の構成によれば、半透明部の配置および透過率を調整することにより、完成パターンに近似するパターンを半導体基板上に転写するように、フォトマスクを修正することができる。

【 0 0 1 6 】

一般に、透過率がほぼ 0 % の遮光部の配置を調整することにより完成パターンに近似するパターンを半導体基板上に転写する場合、遮光部の配置のズレが半導体基板上に転写されたパターンの配置に大きく影響する。

【 0 0 1 7 】

しかしながら、半透明部の配置のズレが半導体基板上に転写されたパターンの配置に与える影響は、遮光部の配置のズレが半導体基板上に転写されたパターンの配置に与える影響よりも小さい。したがって、半透明部の配置のマージンをより大きくすることができる。

【 0 0 1 8 】

その結果、半透明部により白欠陥部の修正が行われたフォトマスクを用いて、白欠陥部分に相当するパターンが半導体基板上に転写された場合に、転写されたパターンの寸法変動率を小さくすることができる。したがって、半導体装置の歩留りを向上させることができる。

【 0 0 1 9 】

本発明の第 2 の局面のフォトマスクは、透明基板と、透明基板に設けられた半透明膜または遮光膜とを備えている。また、そのフォトマスクは、半透明膜または遮光膜が完全に良好に形成された場合の完成パターンを仮定した場合に、該完成パターンのうち欠損した部分である欠陥部と、欠陥部およびその近傍に設けられた半透明部とを備えている。

【 0 0 2 0 】

上記の構成によれば、黒欠陥を除去した後に、除去部分に半透明部を形成することにより、黒欠陥を修正することができる。その結果、前述の白欠陥の修正の場合と同様に、半透明部の配置のマージンを大きくすることができる。

## 【 0 0 2 1 】

また、上記のフォトマスクは、次に示すフォトマスクの製造装置を用いて製造される。

## 【 0 0 2 2 】

本発明の第 1 の局面のフォトマスクの製造装置は、透明基板上に半透明膜または第 1 遮光膜が形成されたフォトマスクの白欠陥を修正する欠陥修正装置である。

## 【 0 0 2 3 】

その欠陥修正装置は、半透明膜または第 1 遮光膜のパターンの位置、形状および寸法を検出する検出器と、検出器により検出されたパターンと本来形成されるはずのパターンが完全に形成された場合の仮想パターンとを比較する比較手段とを備えている。

## 【 0 0 2 4 】

また、その欠陥修正装置は、比較手段の比較結果によって認識した白欠陥部の修正に必要な領域に F I B ビームまたはレーザビームを照射する照射源と、白欠陥部内に、透過率がほぼ 0 % の第 2 遮光膜を堆積させるためのガスを供給するガス供給機構と、F I B ビームまたはレーザビームがフォトマスクに照射される位置を制御する制御手段とを備えている。

## 【 0 0 2 5 】

また、制御手段は、第 2 遮光膜を堆積した後、第 2 遮光膜の周辺部分に、第 2 遮光膜より透過率が大きな半透明部を形成するように、透明基板に F I B ビームまたはレーザビームを照射する制御を実行するプログラムが内蔵されている。

## 【 0 0 2 6 】

本発明の第 2 の局面のフォトマスクの製造装置は、透明基板上に半透明膜が形成されたフォトマスクの黒欠陥を修正する欠陥修正装置である。その欠陥修正装置は、半透明膜または第 1 遮光膜のパターンの位置、形状および寸法を検出する検出器と、検出器により検出されたパターンと本来形成されるはずのパターンが完全に形成された場合の仮想パターンとを比較する比較手段とを備えている。

## 【 0 0 2 7 】

また、その欠陥修正装置は、比較手段の比較結果によって認識した黒欠陥部の修正に必要な領域に F I B ビームまたはレーザビームを照射する照射源と、 F I B ビームまたはレーザビームがフォトマスクに照射される位置を制御する制御手段とを備えている。

【 0 0 2 8 】

また、制御手段は、黒欠陥およびその近傍の半透明膜または遮光膜が除去された部分に、半透明膜または遮光膜よりも透過率が大きな半透明部を形成するように、透明基板に F I B ビームまたはレーザビームを照射する制御を実行するプログラムが内蔵されている。

【 0 0 2 9 】

【発明の実施の形態】

以下、図を用いて本発明の実施の形態のフォトマスク、フォトマスクの製造方法およびフォトマスクの製造装置を説明する。

【 0 0 3 0 】

(実施の形態 1)

まず、本実施の形態のフォトマスクの修正方法と比較例のフォトマスクの修正方法と比較するために、比較例の白欠陥の修正方法を具体的に説明する。この比較例の修正方法において用いられるフォトマスクとしての H T マスクを、図 1 を用いて説明する。このフォトマスクは、図 1 に示すように、白欠陥により H T マスク上の配線パターンに生じた断線欠陥が修正されている。

【 0 0 3 1 】

図 1 に示す H T マスクは、露光波長 2 8 4 n m で使用される。また、図 1 に示す H T マスクは、幅 0 . 5 2  $\mu$  m の配線パターン 1 (半透明膜) と配線パターン 1 同士の間形成されたスペースパターンとが、幅 1 対 1 の比で構成されている。本比較例の欠陥の修正方法では、この配線パターン 1 が断線した白欠陥部分 2 にカーボン膜 3 を堆積させて欠陥部分を修正する。

【 0 0 3 2 】

カーボン膜 3 のエッジ位置と欠陥がないと仮定した場合の仮想パターンのエッジ位置との差を修正オフセットと呼ぶことにする。この修正オフセットは、仮想

パターンエッジ位置よりも凸になる寸法を正值で表現する。

【0033】

透明基板100上のカーボン膜3の修正オフセットとウエハ上のパターンの寸法変動率との関係を光学強度シミュレーションで見積ると、図2に示すような関係になる。シミュレーション条件は、波長が248nm、露光装置のNA (Numerical Aperture) が0.68、半透明膜としての配線パターン1の透過率が6%、カーボン膜3の透過率が0%、欠陥サイズが0.52 $\mu$ m $\times$ 0.8 $\mu$ mである。

【0034】

フォトマスク50上のパターンがウエハ上に転写されたパターンの狙い寸法は、フォトマスク50上のパターンの寸法の1/4の130nmである。なお、本明細書において、狙い寸法とは、そのパターンが当該寸法に形成された場合に最も良好なパターンとなる寸法を意味する。また、ウエハ上のパターンの寸法変動率の範囲は、狙い寸法に対して $\pm 10\%$ の範囲以内であると仮に規定する。その結果、フォトマスク50上のカーボン膜3の修正オフセットは、+33.6nm (ウエハ上では+33.6nmの1/4で+8.4nm) から+88nm (ウエハ上では88nmの1/4で+22.0nm) までの範囲 (フォトマスク上での範囲は54.4nm) が許容範囲となる。

【0035】

要するに、図2に示すように、ウエハ上に転写されたパターンの寸法変動率を0.9~1.1の範囲にするためには、修正オフセットの許容範囲は、 $\pm 27.2$ nmであることが必要である。なお、この値は、図2の白抜き矢印で示す範囲の4倍に相当する。

【0036】

また、別の比較例を説明するために、図1に示すパターンのHTマスクは、露光波長193nmで使用される。また、この場合も、HTマスクは、幅0.4 $\mu$ mの配線パターン1と配線パターン1同士の間形成されたスペースパターンとが、幅1対1の比で構成されている。また、前述の比較例と同様に本比較例の欠陥の修正方法では、この配線パターン1が断線した白欠陥部分2にカーボン膜3

を堆積させて欠陥部分を修正する。

【0037】

また、このパターンのフォトマスクにおいても、カーボン膜3のエッジ位置と欠陥がないと仮定した場合の仮想パターンのエッジ位置との差を修正オフセットと呼ぶことにする。この修正オフセットは、仮想パターンのエッジ位置よりも凸になる寸法を正值で表現する。

【0038】

透明基板100上のカーボン膜3の修正オフセットとウエハ上のパターンの寸法変動率との関係を光学強度シミュレーションで見積ると、図3に示すような関係になる。シミュレーション条件は、波長が193nm、露光装置のNAが0.68、半透明膜としての配線パターン1の透過率が6%、カーボン膜3の透過率が0%、欠陥サイズが $0.4\mu\text{m} \times 0.8\mu\text{m}$ である。

【0039】

フォトマスク50上のパターンがウエハ上に転写されたパターンの狙い寸法は、フォトマスク50上のパターンの寸法の $1/4$ の100nmである。また、このパターンのフォトマスクにおいても、ウエハ上のパターンの寸法変動率の許容範囲は、狙い寸法に対して $\pm 10\%$ 以内であると仮に規定する。その結果、フォトマスク50上のカーボン膜3の修正オフセットは、+31.2nm（ウエハ上では+7.8nm）から+64.4nm（ウエハ上では+16.1nm）までの範囲 $\pm 16.6\text{nm}$ （フォトマスク上では $\pm 33.2\text{nm}$ ）が許容範囲となる。

【0040】

要するに、図3に示すように、ウエハ上のパターンの寸法変動率を0.9～1.1の範囲にするためには、修正オフセットの許容範囲は、 $\pm 16.6\text{nm}$ であることが必要である。なお、この値は、図3の白抜き矢印で示す範囲の4倍に相当する。したがって、露光波長248nmで $0.13\mu\text{m}$ の配線パターンをウエハ上に形成する場合に比べて、露光波長193nmで $0.1\mu\text{m}$ の配線パターンをウエハ上に形成する場合には、フォトマスク上の修正オフセットの許容範囲は、約10nmだけ小さくなる。

【0041】

また、上記の露光波長 2 4 8 n m および 1 9 3 n m のいずれの露光条件で H T マスクを用いる場合にも、H T マスク上の配線パターンの断線白欠陥が透過率ほぼ 0 % のカーボン膜 3 で修正された場合には、ウェハ上のパターンが狙い寸法に仕上がるためのフォトマスク上の最適な修正オフセットは正值となる。すなわち、図 1 に示すように、欠陥がない仮想パターンに対してカーボン膜 3 が凸になる。

#### 【 0 0 4 2 】

次に、本実施の形態の欠陥の修正方法が前述の露光波長 1 9 3 n m で使用する H T マスク上の幅 0 . 4  $\mu$  m の配線パターンの断線欠陥部に対して行われたフォトマスクを、図 4 を用いて説明する。本実施の形態の H T マスクの白欠陥修正方法では、H T の配線パターン 1 の白欠陥の中心部分には透過率がほぼ 0 % の遮光領域 1 1 が形成される。本明細書において、透過率がほぼ 0 % とは、透過率が 0 ~ 2 % の範囲内のことを意味する。また、本実施の形態の H T マスクの白欠陥修正方法では、遮光領域 1 1 に隣接して欠陥のない仮想パターンエッジ付近からパターンの外側にかけて光が透過する半透明領域 1 2 が形成される。この半透明領域の透過率は、1 0 % ~ 2 5 % の範囲内である。

#### 【 0 0 4 3 】

たとえば、本実施の形態のフォトマスク 5 0 は、幅 0 . 4  $\mu$  m の配線パターンの中心部分に、幅 0 . 2  $\mu$  m の透過率がほぼ 0 % の遮光領域 1 1 が形成されている。また、フォトマスク 5 0 は、遮光領域 1 1 の両脇に形成され、透過率が 1 5 % であって、透明基板 1 0 0 としての石英からなる光透過部に対して透過光の位相差がない半透明領域 1 2 が形成されている。

#### 【 0 0 4 4 】

この半透明領域 1 2 の幅を順次変更した場合の修正オフセットとウェハ上のパターン寸法変動率との関係を光学強度シミュレーションで見積ると、図 5 のようになる。

#### 【 0 0 4 5 】

ウェハ上に形成されるパターンの狙い寸法 0 . 1  $\mu$  m に対して  $\pm 1 0$  % 範囲をパターンに許容される転写誤差の範囲とする。その場合、フォトマスク 5 0 上に



形成される半透明領域 1 2 の幅は、1 1 4 nm（ウェハ上では 2 8 . 5 nm）から 1 6 2 . 4 nm（ウェハ上では 4 0 . 6 nm）までの範囲である。そのため、必要とされる半透明領域 1 2 の加工精度の範囲は、マスク上で  $\pm 2 4 . 2$  nm になる。したがって、前述の比較例のカーボン膜 3 の加工精度のマスク上のマージンである  $\pm 1 6 . 6$  nm に比較して、片側 7 . 6 nm だけ、半透明領域 1 2 の加工精度のマージンが大きくなっている。すなわち、従来のフォトマスクの修正方法での加工精度のマージン（ $\pm 1 6 . 6$  nm）に対して、本実施の形態のフォトマスクの修正方法の加工精度のマージンは、約 4 6 % 大きくなっている。

#### 【0 0 4 6】

また、透過率が 1 5 % であり、かつ、透明基板 1 0 0 に対する位相差が  $5^{\circ}$  である半透明領域 1 2 の仮想エッジから凸になる幅を 8 0 nm に固定して白欠陥の中心部分に形成する透過率がほぼ 0 % の遮光領域 1 1 の幅を変える。そのとき、修正オフセットとウェハ上のパターン寸法変動率との間の関係を光学シミュレーションで見積ると図 6 のようになる。

#### 【0 0 4 7】

ウェハ上に転写されたパターン寸法の許容範囲は、前述のパターン寸法の許容範囲と同じく、 $\pm 1 0$  % とすると、フォトマスク上の白欠陥の中心付近に形成された透過率がほぼ 0 % の遮光領域 1 1 の幅は、 $0 . 3 0 4 \mu\text{m}$ （ウェハ上 7 5 . 9 nm）から  $0 . 4 6 0 \mu\text{m}$ （ウェハ上では 1 1 5 . 1 nm）までの範囲が許容範囲である。したがって、マスク上では  $\pm 7 8 . 4$  nm の遮光領域 1 1 の幅の変動が許容される。その結果、比較例である透過率 0 % のカーボン膜 3 のみで白欠陥を修正した場合に必要なマスク上の加工精度の範囲である  $\pm 1 6 . 6$  % に比較して、加工精度のマージンが約 1 3 6 % 大きくなっている。

#### 【0 0 4 8】

さらに、白欠陥の中心付近に形成される透過率がほぼ 0 % の遮光領域 1 1 の幅を  $0 . 2 \mu\text{m}$  に固定し、遮光領域 1 1 に隣接する半透明領域（透過率 1 5 % 固定）1 2 の透明基板 1 0 0 に対する位相差を変更する場合を考える。このときに、半透明領域 1 2 に許容される誤差を光学シミュレーションで見積ると図 7 のようになる。したがって、半透明領域 1 2 の透明基板 1 0 0 に対する位相差が 1 8 0

° から 0° に近づくにしたがって、半透明領域 1 2 の幅の変動に対するウェハ上のパターンの寸法の変動は小さくなる。つまり、半透明領域 1 2 の透明基板 1 0 0 に対する位相差が 1 8 0° から 0° に近づくにしたがって、半透明領域 1 2 の幅の形成誤差の許容範囲は広くなる。

#### 【 0 0 4 9 】

ここで記載したのは一例であり、遮光領域 1 1 の透過率、透明基板 1 0 0 に対する位相差および幅、ならびに、隣接する半透明領域 1 2 の透過率、透明基板 1 0 0 に対する位相差および幅は、フォトマスクの特性（半透明膜として配線パターン 1 の透過率およびパターン位置、形状および寸法など）または欠陥の位置、形状および寸法などに応じて変更することが可能である。

#### 【 0 0 5 0 】

たとえば、図 8 に示す配線パターンのエッジ欠け欠陥は、図 9 に示すような欠陥修正部により修正することが可能である。図 1 0、図 1 2 および図 1 8 に示すコーナー欠け欠陥は、図 1 1、図 1 3 および図 1 9 に示すような欠陥修正部により修正することが可能である。図 2 0 に示すホールパターンのエッジ欠け欠陥は、図 2 1 に示すような欠陥修正部により修正することができる。図 1 4 および図 1 6 に示すエッジ後退欠陥は、図 1 5 および図 1 7 に示すような欠陥修正部により修正することができる。なお、図 8 ～図 2 1 に示す実施の形態の配線パターン 1（半透明膜）、遮光領域 1 1 および半透明領域 1 2 は、図 1 に示すものと位置、寸法および形状以外は同様である。

#### 【 0 0 5 1 】

ただし、図 8 ～図 2 1 に示した修正部分の形態は一例であり、実際の欠陥の形状、位置、およびサイズに応じて、修正部分の加工精度を最適化することが可能である。

#### 【 0 0 5 2 】

上記のような本実施の形態の白欠陥の修正法により、H T マスクの白欠陥を修正すると、修正加工マージンを向上させることができる理由を、図 2 2 を用いて説明する。比較例の白欠陥の修正方法では、透過率がほぼ 0 % のカーボン膜 3 を白欠陥の部分に形成している。しかしながら、カーボン膜 3 は H T マスクのパタ

ーンエッジにおいて位相効果をもたらさない。そのため、図 2 2 の左側のように、白欠陥がない仮想パターンと同じ形状にカーボン膜 3 を形成すると、カーボン膜 3 のエッジ近傍から遮光部の裏側に回り込む光のためにウェハ上の配線パターン（フォトマスク上の半透明膜で形成した配線パターン 1 に対応）の幅が小さくなる。

#### 【0 0 5 3】

この光の回り込みによるウェハ上の配線パターンの幅の誤差を修正するために、比較例の白欠陥の修正方法では、白欠陥の修正部分に対応するウェハ上のパターンの寸法が狙い寸法になるように、図 2 2 の中央または右側のように、カーボン膜 3 のエッジ位置を仮想パターンのエッジからずらして形成する必要がある。そのため、比較例の白欠陥の修正方法では、修正オフセット  $\Delta_1$  ( $\Delta_2$ ) を調整する、すなわち、透過率がほぼ 0 % のカーボン膜 3 のエッジ位置を仮想パターンのエッジ位置よりも外側にすることにより、白欠陥の修正部分に対応するウェハ上のパターンの寸法が狙い寸法になるように制御している。

#### 【0 0 5 4】

しかしながら、本実施の形態の白欠陥の修正方法では、図 4 に示すように、修正オフセット位置を透過率がほぼ 0 % の遮光領域 1 1 に隣接する半透明領域 1 2 のエッジ位置で制御するようにしている。

#### 【0 0 5 5】

一般に、フォトマスク上の白欠陥が修正された部分が転写されたウェハ上のパターン寸法は、フォトマスク上の透明基板の透明領域を透過する光の強度と遮光部分を透過する光の強度とのバランスにより変動する。そのことは、図 2 2 を用いて説明される。

#### 【0 0 5 6】

図 2 2 から、修正オフセット  $\Delta = 0$  の左側のカーボン膜 3 による修正では、フォトマスクの修正部分を透過する光の強度がフォトマスクの他の部分を透過する光の強度よりも大きくなってしまふことが分かる。また、図 2 2 から、修正オフセット  $\Delta = \Delta_2$  の右側のカーボン膜 3 による修正では、フォトマスクの修正部分を透過する光の強度がフォトマスクの他の部分を透過する光の強度よりも小さく

なってしまふことが分かる。また、図 2 2 から、修正オフセット  $\Delta = \Delta_1$  の中央のカーボン膜 3 による修正では、フォトマスクの修正部分を透過する光の強度とフォトマスクの他の部分を透過する光の強度とが同一になっていることが分かる。

#### 【 0 0 5 7 】

そのため、比較例の白欠陥の修正方法のように、光の強度を急激に変動させる透過率がほぼ 0 % のカーボン膜 3 のエッジ位置の制御で光の強度を調整するよりも、本実施の形態の白欠陥の修正方法のように、光の強度が緩やかに変動する半透明領域 1 2 のエッジ位置で光の強度を調整するほうが、修正部分のエッジ位置の誤差の許容範囲が大きくなる。したがって、本実施の形態の白欠陥の修正方法では、半透明部を用いて白欠陥を修正している。

#### 【 0 0 5 8 】

##### （実施の形態 2）

次に、実施の形態 2 のフォトマスクのホールパターンの修正方法を説明する。本実施の形態のフォトマスクの修正方法においては、修正するパターンが異なること以外は、実施の形態 1 のフォトマスクの修正方法と同様の手法が用いられる。

#### 【 0 0 5 9 】

図 2 0 および図 2 1 には、露光波長 2 4 8 n m で使用する H T マスクに、約 0 . 6  $\mu$  m 角のホールパターンのエッジに生じた白欠陥（約 0 . 3  $\mu$  m エッジ欠け欠陥）が形成された状態が示されている。

#### 【 0 0 6 0 】

比較例の白欠陥をカーボン膜を用いて修正する方法では、白欠陥が修正された部分の転写後のウェハ上のパターンの寸法変動の許容範囲を狙い寸法  $\pm 1 0$  % の範囲以内になるようにするためには、フォトマスク上に形成されたカーボン膜 3 のエッジ位置のズレの許容範囲が  $\pm 6 8$  n m （レンジ 1 3 6 n m）以内であることが要求される。

#### 【 0 0 6 1 】

しかしながら、本実施の形態の修正方法を用いる場合には次のようなことが言

える。

#### 【0062】

本実施の形態においては、透過率がほぼ0%の遮光領域11のエッジ位置を仮想パターンのエッジとする。また、ホール中心側に透過率が15%であり、かつ、透明基板100との位相差が0の半透明領域12が形成されるものとする。そのとき、半透明領域12のエッジ位置のズレの許容範囲は±152nm（レンジ304nm）になる。すなわち、本実施の形態の修正方法を適用することにより、フォトマスク上の欠陥修正マージンを向上させることができる。

#### 【0063】

さらに、リソグラフィ工程での露光デフォーカス（defocus）に対する欠陥修正部分の寸法変動について、本実施の形態のフォトマスクの修正方法と比較例のフォトマスクの修正方法とを比較すると、図23および図24のようになる。寸法変動の値は光学強度シミュレーションを用いて見積っている。図23および図24に示すように、比較例の白欠陥の修正方法に対して、本実施の形態の修正方法では、デフォーカス時のウェハ上のパターンの寸法変動が小さいことが分かる。

#### 【0064】

##### （実施の形態3）

次に、実施の形態1または2のフォトマスクの修正方法をさらに詳細に説明する。

#### 【0065】

図25には、加速電圧30KeVのFIB照射装置で、Gaイオンをマスク材の石英からなる透明基板100の表面に照射する場合の測定結果が示されている。図25には、Gaイオンのトータルドーズ量を異ならせて照射したときに、イオンが照射される部分の光の透過率がどのように変化するかが示されている。なお、照射するイオンとしては、Gaの代わりにAu, Si, Beが用いられてもよい。また、使用の困難さの問題が解消されれば、Gaの代わりにIn, Pb, Znが用いられてもよい。

#### 【0066】

図 2 5 に示すように、照射するドーズ量を 0 から  $0.2 \text{ nC} / \mu \text{ m}^2$  まで増加させると、透明基板 1 0 0 の透過率は徐々に低下する。たとえば、 $0.1 \text{ nC} / \mu \text{ m}^2$  のドーズ量で G a イオンを照射した透明基板 1 0 0 の表面の透過率は、光の波長が  $193 \text{ nm}$  のとき、 $22\%$  になる。しかしながら、さらにドーズ量を増加させても透過率はあまり変化しない。

## 【 0 0 6 7 】

また、G a イオンを照射した透明基板 1 0 0 の表面はエッチングされる。図 2 6 には、F I B による G a イオンのドーズ量とイオンによりエッチングされた透明基板 1 0 0 のエッチング深さとの関係を説明するための実験データが示されている。たとえば、 $0.5 \text{ nC} / \mu \text{ m}^2$  では  $128 \text{ nm}$  の深さまで、透明基板 1 0 0 はエッチングされている。さらに、照射される G a イオンが透明基板 1 0 0 の表面に衝突する際に透明基板 1 0 0 の表面が物理的にエッチング（スパッタリング）されるとともに、一部の G a イオンが透明基板 1 0 0 の表面近傍に注入される。その結果、注入された G a 層により透明基板 1 0 0 の透過率が低下する。

## 【 0 0 6 8 】

また、 $\text{H}_2\text{O}$  が含まれたガス雰囲気中で G a イオンを透明基板 1 0 0 に照射すると、透明基板 1 0 0 のエッチングが阻害される。たとえば、 $\text{H}_2\text{O}$  が含まれたガスをチャンバ内に  $1 \text{ Torr}$  ( $\approx 133.32 \text{ Pa}$ ) の圧力で供給した状態で、 $0.15 \text{ nC} / \mu \text{ m}^2$  のドーズ量の G a イオンを照射する。そのとき、透明基板 1 0 0 がエッチングされる深さは  $12 \text{ nm}$  になる。しかしながら、図 2 6 に示すように、ガスを含まない雰囲気中において、ドーズ量  $0.15 \text{ nC} / \mu \text{ m}^2$  で G a イオンを透明基板 1 0 0 に照射すると、透明基板は約  $38 \text{ nm}$  だけエッチングされる。

## 【 0 0 6 9 】

$\text{H}_2\text{O}$  が含まれたガス雰囲気中で G a イオンを透明基板 1 0 0 に照射すると、前述のとおり石英からなる透明基板 1 0 0 のエッチングが阻害される。そのため、 $\text{H}_2\text{O}$  が含まれているガス雰囲気中で G a イオンを透明基板 1 0 0 に照射する場合には、 $\text{H}_2\text{O}$  が含まれていないガス雰囲気中で G a イオンを透明基板 1 0 0 に照射する場合に比較して、透明基板 1 0 0 により多くの G a イオンが注入され

る。その結果、Ga イオンが照射された部分の透過率をさらに下げることができる。

#### 【0070】

たとえば、FIB 照射装置のチャンバ内において  $H_2O$  が含まれたガスを 1 Torr ( $\equiv 133.2 \text{ Pa}$ ) の圧力で供給した状態で、Ga イオンをドーズ量  $0.15 \mu\text{C}/\mu\text{m}^2$  で透明基板 100 に照射した場合、透明基板 100 の透過率を 15% まで下げることができる。 $H_2O$  が含まれたガスの供給圧力と Ga イオンのドーズ量とを変化させて Ga が照射された部分の透過率を調べると、図 25 のようになる。図 25 に示すように、 $H_2O$  が含まれたガスでは、ガスの供給圧力が 1 Torr ( $\equiv 133.2 \text{ Pa}$ ) のとき、透明基板 100 の透過率を最も小さくすることができる。また、Ga イオンのドーズ量は  $0.15 \text{ nC}/\mu\text{m}^2$  以上であれば、透明基板 100 の透過率はほぼ 15% で一定になる。

#### 【0071】

Ga イオン照射部分の透過率は、ドーズ量が  $0.1 \sim 0.2 \mu\text{C}/\mu\text{m}^2$  までの間では、初期の Ga イオンの透明基板 100 に注入するスピードと Ga イオンによる透明基板 100 のエッチングスピードとのバランスで決まる。 $H_2O$  を含んだガス雰囲気では、Ga イオン照射による石英からなる透明基板 100 のエッチングを阻害する。そのため、Ga イオンを注入するスピードがエッチングスピードよりも大きくなる。その結果、 $H_2O$  を含んだガスを使う場合には、 $H_2O$  を含んだガスを使わない場合に比較して、透明基板 100 の透過率をより下げることができる。

#### 【0072】

その後、エッチングスピードと注入スピードとが平衡になるため、ドーズ量が増加しても透明基板 100 の透過率は変わらない。

#### 【0073】

本実施の形態の欠陥の修正方法では、欠陥部分を修正するための設定条件の一例として、 $H_2O$  を含むガスの供給圧力が 1 Torr ( $\equiv 133.2 \text{ Pa}$ ) であり、Ga イオンのドーズ量が  $0.15 \text{ nC}/\mu\text{m}^2$  である条件を採用する。それにより、透明基板 100 のエッチング量を最小にすることにより、HT マスクの欠

陥修正をより効果的に行なうことができる。

【 0 0 7 4 】

ここで、実施の形態 1 で示した配線のパターンの断線白欠陥を修正する実際の方法の一例を説明する。作業手順は図 2 7 のフローチャートにまとめた。

【 0 0 7 5 】

欠陥の修正においては、まず、S 1 において、F I B 照射装置のチャンバ内に欠陥が発生したフォトマスクをセットする。このとき、F I B が照射されるフォトマスク上の位置をフォトマスク上の欠陥部分に合わせるためのアライメントを行う。その後、フォトマスクがチャンバ内にセットされた状態で、F I B 照射装置の制御手段が記憶している座標系の再設定を行う。これにより、フォトマスク上の位置を F I B 装置の制御手段が認識している座標で表すことが可能になる。なお、F I B 照射装置については図 3 1 を用いて後述する。

【 0 0 7 6 】

次に、S 2 において、F I B 照射装置に設置されたマスク観察装置を用いてチャンバ内にセットしたフォトマスクの欠陥部分の位置、形状および寸法を確認する。これにより、フォトマスク上の欠陥の情報（位置、形状および寸法）が F I B 装置の制御手段により認識され、欠陥の情報が F I B 照射装置の記憶手段内で記憶される。なお、欠陥の情報は予め別の装置である欠陥検査装置で得たものを欠陥修正装置に入力することもできる。

【 0 0 7 7 】

その後、S 3 において、欠陥部分の位置、形状および寸法から、当該欠陥部分をどのように修正するのかを判断する。すなわち、遮光領域 1 1 の位置、形状および寸法および半透明領域 1 2 の位置、形状および寸法が F I B 装置内の演算手段で算出される。その判断結果を用いて、S 4 において、ほぼ透過率 0 % の遮光領域 1 1 としてのカーボン膜を形成する。次に、S 5 において、遮光領域 1 1 に隣接する透過率が約 1 5 % の半透明領域 1 2 とを形成する。その後、S 6 において、フォトマスクを修正装置から取り出す。

【 0 0 7 8 】

この例では、まず、有機ガス雰囲気中で F I B 照射により、ほぼ透過率 0 % の



遮光領域 1 1 としてカーボン膜を堆積することにより形成する。カーボン膜 3 のエッジ位置は欠陥のない仮想エッジ位置よりも若干内側に位置するようにする、すなわち、修正オフセット負値になるようにする。

【 0 0 7 9 】

また、遮光領域 1 1 としてのカーボン膜が形成されている領域および遮光領域 1 1 のエッジ位置から側方の約 8 0 n m まで領域内に、前述の条件で G a イオンを照射する。このとき、カーボン膜は、G a イオン照射によりエッチングされるが、カーボン膜は、G a イオン照射で完全に除去されない。また、カーボン膜の膜厚は、G a イオンの照射後に、カーボン膜の透過率がほぼ 0 % になるように設定されている。

【 0 0 8 0 】

なお、前述の条件の F I B 照射装置を用いて透明基板 1 0 0 の表面のエッチングを抑制することにより、透明基板 1 0 0 の透明部分とエッチングされた部分との間の光の位相差を最小に抑え、かつ透明基板 1 0 0 に透過率が約 1 5 % の半透明領域 1 2 を形成することができる。また、半透明領域 1 2 の透過率は、前述のとおり、特定のドーズ量以上が透明基板に照射された場合には、ほぼ一定の値になる。そのため、特定のドーズ量以上を透明基板 1 0 0 に照射することにより、透明基板 1 0 0 に形成される半透明領域 1 2 の透過率をコントロールすることは容易である。

【 0 0 8 1 】

(実施の形態 4)

本実施の形態のフォトマスクの修正方法は、実施の形態 3 のフォトマスクの修正方法とほぼ同様の修正方法であるが、次に示すようなことが実施の形態 3 のフォトマスクの修正方法とは異なる。

【 0 0 8 2 】

実施の形態 3 のフォトマスクの修正方法では、透過率がほぼ 0 % のカーボン膜 3 を形成した後に、カーボン膜が形成された領域およびその近傍の領域に G a イオンを照射して白欠陥の修正部分の構造を形成する。

【 0 0 8 3 】

しかしながら、本実施の形態のフォトマスクの修正方法では、透明基板 1 0 0 に G a イオンを照射することにより半透明領域 1 2 を形成した後に、遮光領域 1 1 としてのカーボン膜を形成する。この方法によっても、実施の形態 3 のフォトマスクの修正方法により得られる効果と同様の効果を得ることができる。

【 0 0 8 4 】

(実施の形態 5)

本実施の形態のフォトマスクの修正方法では、まず、白欠陥部分にカーボン膜 3 を用いてほぼ透過率 0 % の遮光領域 1 1 としてのカーボン膜を形成する。その後、カーボン膜の外側に F I B 照射の位置をずらすことにより、G a イオンが注入される透明基板 1 0 0 の位置をカーボン膜の外側にずらす。それにより、カーボン膜の外側に半透明領域 1 2 を形成する。したがって、カーボン膜には G a イオンは注入されない。この方法によっても、実施の形態 3 のフォトマスクの修正方法により得られる効果と同様の効果を得ることができる。

【 0 0 8 5 】

(実施の形態 6)

上記実施の形態 1 ～ 5 のフォトマスクの製造方法では、F I B 照射装置を用いて白欠陥を修正している。しかしながら、本実施の形態のフォトマスクの修正方法においては、F I B 照射装置の代わりにレーザ C V D 装置を用いて、透過率がほぼ 0 % の遮光領域 1 1 を形成した後、遮光領域 1 1 に隣接した半透明領域 1 2 を形成する。遮光領域 1 1 および半透明領域 1 2 は、それぞれ堆積膜（たとえば、C r 膜）により形成される。したがって、遮光領域 1 1 と半透明領域 1 2 との透過率の差は、2 つの膜の膜厚の大きさに依存することになる（遮光領域 1 1 の膜厚 > 半透明領域 1 2 の膜厚）。この方法によっても、実施の形態 1 ～ 5 のフォトマスクの修正方法と同様に、白欠陥部分のウェハ上のパターン寸法変動を許容範囲に入れるために必要なマスク上の白欠陥の修正部分の加工精度マージンを大きくすることができる。

【 0 0 8 6 】

(実施の形態 7)

実施の形態 1 ～ 5 のフォトマスクの修正方法では、半透明領域 1 2 は F I B 照

射によるGaイオン注入によって形成されている。しかしながら、本実施の形態のフォトマスクの修正方法においては、透過率がほぼ0%の遮光領域11の形成方法では、有機ガス雰囲気中において透明基板100にFIB照射またはレーザ照射を行うことによりカーボン膜3を形成した後、FIB照射またはレーザCVDを用いて、遮光領域11の膜厚に比べて、膜厚が小さい膜により半透明領域12としての膜を形成する。このようなフォトマスクの修正方法によっても、実施の形態1～5のフォトマスクの修正方法により得られる効果と同様の効果を得ることができる。

【0087】

（実施の形態8）

実施の形態1～7のフォトマスクの修正方法では、半透明領域12は、FIB照射により透明基板100の表面に、Gaイオン注入、FIB照射またはレーザCVDによって膜厚の小さい膜を堆積させることにより形成される。しかしながら、本実施の形態のフォトマスクの修正方法では、実施の形態1～7のフォトマスクの修正方法のFIB照射において、FIBミリング（エッチング）を用いる。つまり、Gaが注入された透明基板100をエッチングすることにより、透明基板100内に注入されるGaイオンの量は減少するが、所望の領域の透明基板の表面を微妙に粗面化することができる。それにより、粗面化された透明基板100の表面では、光の乱反射が生じる。そのため、粗面化された領域が半透明領域12となる。このようなフォトマスクの修正方法によっても、実施の形態1～7のフォトマスクの修正方法により得られる効果と同様の効果を得ることができる。

【0088】

（実施の形態9）

図7には、実施の形態1のフォトマスクの修正方法において、HTマスク上の配線パターンの白欠陥を修正した場合に、透明基板100を通過する光の位相と半透明領域12を透過する光の位相との差（位相差）を変更した場合に、ウエハ上に転写されるパターンの寸法変動の割合がどのように変化するかの、光学強度シミュレーションにより得られた結果が示されている。

## 【 0 0 8 9 】

図 7 では、フォトマスク上の白欠陥部分に形成された半透明領域 1 2 のエッジ位置の許容範囲である加工精度のマージンは、位相差が  $180^\circ$  のとき最も小さくなり、0 % で最も大きくなることが示されている。したがって、実施の形態 1 のフォトマスクの修正方法の効果を最大限に利用するには、白欠陥の修正部分に形成された半透明領域 1 2 を透過する光の位相と、透明基板の透明部分を透過する光の位相と差を  $0^\circ$  にできる限り近づける必要がある。

## 【 0 0 9 0 】

このためには、実施の形態 1 ～ 6、8 のフォトマスクの修正方法において、半透明部分の F I B 照射によるエッチング深さを、 $d = \lambda / 2 (n - 1)$  の偶数倍に近くなるように、F I B 照射条件を設定する。なお、 $\lambda$  は露光波長であり、 $n$  は透明基板の光の屈折率である。

## 【 0 0 9 1 】

## (実施の形態 1 0)

実施の形態 1 ～ 9 のフォトマスクの修正方法では、フォトマスク上の白欠陥修正部分は、ほぼ透過率 0 % の遮光領域 1 1 に隣接した半透明領域 1 2 が 1 種類の透過率の領域で形成されている。しかしながら、本実施の形態のフォトマスクの修正方法では、図 2 8 に示すように、半透明領域 1 2 が透過率の異なる複数種類の領域により形成されている。このような方法によっても、実施の形態 1 ～ 9 のフォトマスクの修正方法と同様に、欠陥の修正部分の加工精度のマージンを向上させることができる。

## 【 0 0 9 2 】

## (実施の形態 1 1)

実施の形態 1 ～ 1 0 のマスク上の白欠陥の修正方法においては、遮光領域 1 1 は透過率がほぼ 0 % である。しかしながら、本実施の形態のフォトマスクの修正方法においては、遮光領域 1 1 が数 % の透過率を有している。数 % の透過率とは、透過率が 2 % ～ 6 % であることを意味している。

## 【 0 0 9 3 】

このように遮光領域 1 1 が数 % の透過率を有している場合にも、遮光領域 1 1

に隣接して形成される半透明領域 1 2 の幅を透過率がほぼ 0 % の遮光領域 1 1 が形成された場合よりも大きくすることにより、実施の形態 1 ～ 1 0 のフォトマスク上の白欠陥の修正方法と同様に、フォトマスク上の白欠陥を修正する部分の加工精度のマージンを向上させることができる。

## 【 0 0 9 4 】

## （実施の形態 1 2）

実施の形態 1 ～ 1 1 のフォトマスクの修正方法では、HT マスク上の白欠陥の修正方法について説明がなされている。しかしながら、HT マスクではない通常のマスク（所定の光の波長で遮光膜の透過率はほぼ 0 %）に形成された白欠陥に対しても実施の形態 1 ～ 1 1 のフォトマスクの修正方法を適用することにより、実施の形態 1 ～ 1 1 のフォトマスクの修正方法により得られる効果と同様の効果を得ることができる。

## 【 0 0 9 5 】

## （実施の形態 1 3）

実施の形態 1 ～ 1 2 のフォトマスクの修正方法では、白欠陥の修正方法について説明がなされている。しかしながら、黒欠陥（Opaque Defect）の修正方法においても、図 2 9 および図 3 0 に示すように黒欠陥を修正することより、黒欠陥の修正部分の位置、形状および寸法の精度のマージンを大きくすることができる。以下、黒欠陥の修正方法を図 2 9 および図 3 0 を用いて具体的に説明する。

## 【 0 0 9 6 】

本実施の形態の黒欠陥の修正方法では、まず、レーザまたは F I B 照射を用いて、図 2 9 に示す黒欠陥部分 1 0 a の遮光膜 1 を除去する。このとき、黒欠陥部分 1 0 a がないと仮定した場合の仮想のエッジ位置よりも凹になるように、遮光領域 1 1 を除去する。さらに、図 3 0 に示すように、黒欠陥部分 1 0 a を除去する加工を行なった領域に半透明領域 1 2 a を形成する。半透明領域 1 2 a の形成方法は、実施の形態 1 ～ 1 2 に記載した形成方法それぞれと同様の方法を適用することができる。ただし、黒欠陥の修正においては、遮光膜 1 を除去した部分の透明基板の透明領域 1 2（1 2 a，1 2 b を含む領域）の透過率が低下する問題がある。

## 【 0 0 9 7 】

しかしながら、本実施の形態の黒欠陥の修正方法では、黒欠陥部分 1 0 a の余分な遮光膜 1 を除去する際に、黒欠陥部分 1 0 a がないと仮定した仮想エッジよりも黒欠陥部分 1 0 a を除去した後に形成されたパターンのエッジの位置を凹にして黒欠陥部分 1 0 a を除去した部分 1 2 の透過率の低下を補正している。

## 【 0 0 9 8 】

さらに、本実施の形態の黒欠陥の修正方法では、半透明領域 1 2 a が形成されている。このように、半透明領域 1 2 a を形成することにより、ウエハ上に転写されるパターンの転写誤差をより細かくコントロールすることができる。その結果、本実施の形態の黒欠陥の修正においても、欠陥を修正する部分の加工精度のマージンを大きくすることができる。

## 【 0 0 9 9 】

## (実施の形態 1 4)

次に、図 3 1 を用いて、実施の形態 1 ～ 5 および 7 ～ 1 3 に示すフォトマスクの欠陥修正方法に用いられる、フォトマスクに対して F I B 照射を実行可能な欠陥修正装置を説明する。

## 【 0 1 0 0 】

本実施の形態の F I B 照射を用いる欠陥修正装置は、図 3 1 に示すような構造である。その欠陥修正装置を用いた欠陥の修正方法は、以下に示すようなものである。

## 【 0 1 0 1 】

フォトマスクとして用いられるマスク基板 1 0 4 は、ロード／アンロードユニット 1 1 3 内でマスクステージ 1 0 7 に設置される。ビームチャンバ 1 0 0 0 内はバキュームポンプ 1 1 2 で真空状態にされている。また、マスク基板 1 0 4 がマスクステージ 1 0 7 に搭載された後、バキュームポンプ 1 1 2 を用いてロード／アンロードユニット 1 1 3 内を真空状態にする。その後、ロード／アンロードユニット 1 1 3 とビームチャンバ 1 0 0 0 との間のバルブ（図示せず）が開かれて、マスクステージ 1 0 7 がビームチャンバ 1 0 0 0 内に移動する。

## 【 0 1 0 2 】

ビームチャンバ 1 0 0 0 の上部に固定されたイオン源 1 0 1 は、ビーム光学系制御 H / W 1 0 8 から送信されてきた信号により制御され、ヒータで加熱され、かつ、高電圧 V が印加される。それにより、イオン源 1 0 1 からイオンビーム 2 0 0 が発生する。また、オペレータがオペレーティングコンソール 1 1 0 に設けられた入力スイッチを操作することにより、ビーム光学系制御 H / W 1 0 8 が制御されて、磁気レンズ 1 0 3 が駆動される。それにより、イオンビーム 2 0 0 の形状が調整される。

#### 【 0 1 0 3 】

一般に、イオンビーム 2 0 0 の形状は、欠陥の修正部分の加工精度に大きな影響を与える。そのため、欠陥修正装置の能力として可能な限り、欠陥の修正に最適な状態にイオンビーム 2 0 0 の形状を調整する。

#### 【 0 1 0 4 】

また、オペレーティングコンソール 1 1 0 の入力スイッチの操作により、ステージ制御 H / W 1 1 1 が駆動する。また、フォトマスクの欠陥を検出するための欠陥検査装置（図示せず）で検出された欠陥のデータ（位置座標、形状、および寸法）は、制御ユニット 1 0 9 の R A M （Random Access Memory）にオンラインなどで転送される。その後、制御ユニット 1 0 9 の R A M から読み出された欠陥の座標のデータに基づいて、ステージ制御 H / W 1 1 1 は、マスク基板 1 0 4 の欠陥部分にイオンビーム 2 0 0 を照射できる位置にマスクステージ 1 0 7 を移動させる信号をマスクステージ 1 0 7 に送信する。

#### 【 0 1 0 5 】

なお、検出器 1 0 5 は、フォトマスク上に形成された半透明膜としての配線パターン 1 等のパターンの画像を認識することにより、そのパターンの位置、形状、および寸法を特定するものである。また、本実施の形態の欠陥修正装置は、検出器 1 0 5 から制御ユニット 1 0 9 内の R A M に欠陥部分の座標等のデータを送信することが可能に構成されている。本欠陥修正装置によれば、マスク基板 1 0 4 にイオンビーム 2 0 0 または電子ビームを照射した結果、マスク基板 1 0 4 から放射される 2 次電子または 2 次イオンを検出器 1 0 5 で検出する。それにより、検出器 1 0 5 では、欠陥部分の形状、位置および寸法を特定可能なデータが得

られる。

【0106】

また、制御ユニット109内のCPU (Central Processing Unit) は、ROM (Read Only Memory) 内に格納された制御用プログラムを用いて、イオンビーム200を照射する領域を、RAMに格納された欠陥の形状、位置およびサイズの電子データに基づいて特定する。それにより、CPUは、半透明膜としての配線パターン1の欠陥部分を修正するためのイオンビーム200の照射条件を指示するデータをビーム光学系制御H/W108に送信する。

【0107】

また、ビーム光学系制御H/W108は、制御ユニット109から送信されてきたイオンビーム200の照射条件を指示するデータに基づいてイオン源101のイオンビーム200の状態（ビームの発射方向など）を制御する。

【0108】

本欠陥修正装置は、欠陥の形状、位置および寸法を認識することにより、自動的に半透明膜としての配線パターン1等の修正後の最終形状を決定する。そのため、オペレーティングコンソール110の入力スイッチを操作することにより、ビーム電流、ビーム照射ピクセル、およびDwell時間等のビーム照射条件を入力する。また、ガス供給機構130は、その欠陥部分に堆積膜を形成するためのガス（たとえばカーボン系ガス）を吹き付ける。このガスの上からイオンビーム200が照射される。その結果、イオンビーム200の照射領域に、透過率がほぼ0%の遮光領域11としてのカーボン膜が堆積される。

【0109】

カーボン膜3が形成された後にチャンバ1000内のガスを排出する。次に、制御ユニット109は、半透明領域12を形成するために、カーボン膜3の近傍の透明基板100にイオンビーム200を照射する制御を実行する。その後、欠陥が修正されたフォトマスクのパターンを、欠陥を修正する前のフォトマスクのパターンを観察したときの方法と同様の方法で観察する。それにより、欠陥部分の修正が適正に行われたか否かを確認する。

【0110】



なお、マスク基板 1 0 4 の上側に設けられたニュートライザ 1 0 6 は、正または負に帯電したマスク基板 1 0 4 に帯電している電荷とは逆の電荷を照射することにより、マスク基板 1 0 4 の帯電を抑制するためのものである。

【 0 1 1 1 】

また、電磁レンズ 1 0 3 の下側に位置するブランカ 1 1 4 は、マスク基板 1 0 4 にイオンビーム 2 0 0 を照射する必要がある場合に、イオン源 1 0 1 から発射されたイオンビーム 2 0 0 を接地電極 ( G N D ) に流すためのものである。

【 0 1 1 2 】

(実施の形態 1 5)

次に、図 3 2 を用いて、実施の形態 6 に示すフォトマスクの欠陥修正方法に用いられる欠陥修正装置を説明する。

【 0 1 1 3 】

本実施の形態のレーザ C V D を用いた欠陥修正装置は、図 3 2 に示すような構造である。その欠陥修正装置 2 0 0 0 を用いた欠陥の修正方法は、以下に示すようなものである。

【 0 1 1 4 】

フォトマスクとなるマスク基板 2 0 2 は、ロード／アンロードユニット 2 0 6 内でマスクステージ 2 0 1 に設置される。チャンバ 2 2 0 内はバキュームポンプ 2 0 7 で真空状態にされている。マスク基板 2 0 2 がマスクステージ 2 0 1 に設置された後、バキュームポンプ 2 0 7 を用いてロード／アンロードユニット 2 0 6 内を真空状態にする。

【 0 1 1 5 】

その後、ロード／アンロードユニット 2 0 6 とチャンバ 2 2 0 との間のバルブ (図示せず) が開かれ、マスクステージ 2 0 1 がチャンバ 2 2 0 内に移動する。次に、オペレーティングコンソール 2 0 8 を操作することにより、制御ユニット 2 0 9 に所定の信号が入力される。その所定の信号に基づいて、制御ユニット 2 0 9 内の C P U は、ガス供給部 2 0 5 を制御するための特定の信号をガス供給部に送信する。その特定の信号により、ガス供給部 2 0 5 は、チャンバ 2 2 0 内のマスク基板 2 0 2 上の欠陥部分に堆積させる膜に最適なガスを供給するように駆

動する。本実施の形態では、遮光膜として用いられるCr膜を堆積させるために、 $(Cr(CO_2)_4 + N_2)$  ガスが用いられる。

## 【0116】

レーザ発振器210は、制御ユニット209のCPUから送信されたきた信号に基づいて制御され、レーザ光線を発射する。レーザ光線は、チャンバ220の上部に固定されたミラー211、ハーフミラー212、213を介して、マスク基板202に到達する。

## 【0117】

また、オペレーティングコンソール208の入力スイッチを操作することにより、制御ユニット209は、マスク基板202に形成されたパターンの欠陥の座標が記憶されたRAMから欠陥の座標のデータを読み出す。また、制御ユニット209は、欠陥の座標のデータに基づいてマスク基板202の欠陥部分にレーザ光線を照射できるように、マスクステージ201の位置を移動させる信号をステージ制御H/W204に送信する。その信号に基づいて、ステージ制御H/W204はマスクステージ201の位置を変更する制御を実行する。

## 【0118】

また、マスクステージ201の下側には光源203が設けられており、また、顕微鏡215の上側には光源214が設けられている。光源203から発射された光は、マスク基板202上の半透明膜としての配線パターン1が設けられた領域以外の透明基板100を通過する。その通過した光は、ハーフミラー213で反射して顕微鏡215に入射する。また、光源214から発射された光は、ハーフミラー212で反射した後、マスク基板202に到達する。マスク基板202に到達した光は、半透明膜としての配線パターン1で反射され、半透明膜が設けられた領域以外の透明基板を通過する。遮光膜で反射された光は、ハーフミラー213で反射された後、顕微鏡215に入射する。

## 【0119】

顕微鏡215に入射された光により、マスク基板202上の遮光膜のパターンの画像のデータが得られる。半透明膜のパターンの画像のデータは、電子データとして、顕微鏡215からオペレーティングコンソール208に送信される。そ

れにより、オペレーティングコンソール 2 1 5 では、半透明膜としての配線パターン 1 の画像に基づいて、配線パターン 1 に形成された欠陥の位置、形状および寸法のデータを制御ユニットの R A M に記憶させる。

【 0 1 2 0 】

制御ユニット 2 0 9 の C P U は、R O M に記憶されたプログラムを用いて、R A M に記憶された欠陥の位置、形状および大きさのデータを参照して、ガス供給部 2 0 5 からチャンバ 2 2 0 内に供給されるガスの圧力およびレーザ発振器 2 1 0 から発射されるレーザ光線の発射条件（レーザ照射時間、レーザのパルスおよびレーザ照射位置等）を決定する。その後、C P U は、決定されたレーザ照射条件で、レーザ光線がレーザ発振器 2 1 0 から発射されるように、レーザ発振器 2 1 0 を制御する信号をレーザ発振器 2 1 0 に送信する。それにより、マスク基板 2 0 2 上の配線パターン 1 の欠陥部分にレーザが照射される。その結果、そのレーザ光線が照射された領域に透過率がほぼ 0 % の C r からなる遮光膜が堆積される。

【 0 1 2 1 】

その後、ステージ制御 H / W 2 0 4 は、制御ユニット 2 0 9 内の R O M に記憶されている制御用プログラムに基づいて、C r からなる遮光膜が堆積された位置の近傍にレーザ光線が照射されるように、マスクステージ 2 0 1 を移動させる制御を実行する。その状態で、レーザ発振器 2 1 0 が、遮光膜を堆積させたときよりも小さい出力のレーザ光線を発射すると、遮光膜の近傍の透明基板 1 0 0 に半透明領域 1 2 として遮光領域 1 1 をよりも小さい膜厚の堆積膜が形成される。したがって、欠陥が修正される。その後、バキュームポンプ 2 0 7 を駆動することにより、チャンバ 2 2 0 内のガスが排出される。

【 0 1 2 2 】

欠陥が修正されたフォトマスクのパターンと欠陥を修正する前のフォトマスクのパターンとを、同様の方法で、観察する。それにより、欠陥部分の修正が適正に行われたか否かを確認する。

【 0 1 2 3 】

以下、実施の形態 1 4 および 1 5 の欠陥修正装置を用いて、白欠陥または黒欠

陥を修正する具体的手法を説明する。

【 0 1 2 4 】

実施の形態 1 4 または 1 5 の欠陥修正装置を、実施の形態 1 ～ 1 2 それぞれに示す透明基板 1 0 0 上に半透明膜または遮光膜が形成されたフォトマスクの白欠陥を修正する欠陥修正装置として用いる場合には、それぞれの欠陥修正装置は、以下のように機能する。

【 0 1 2 5 】

実施の形態 1 4 の検出器 1 5 および実施の形態 1 5 の顕微鏡 2 1 5 は、半透明膜または第 1 遮光膜のパターンの大きさ、位置および形状を検出する検出器として機能する。また、実施の形態 1 4 のオペレーティングコンソール 1 1 0 および制御ユニット 1 0 9 ならびに実施の形態 1 5 のオペレーティングコンソール 2 0 8 および制御ユニット 2 0 9 は、前述の検出器により検出された欠陥の発生したパターンの位置、形状および寸法を認識し、その認識されたパターンと本来形成されるはずのパターンが完全に形成された欠陥のない場合の仮想パターンとを比較することで最適な欠陥の修正のためのデータを設定する。

【 0 1 2 6 】

また、実施の形態 1 4 のイオン源 1 0 1 または実施の形態 1 5 のレーザ発振器 2 1 0 は、別装置である欠陥検査装置により検出されたパターンに発生した白欠陥部の修正に必要な領域に F I B ビームまたはレーザビームを照射する照射源として機能する。

【 0 1 2 7 】

また、実施の形態 1 4 のガス供給部 1 3 0 および実施の形態 1 5 のガス供給部 2 0 5 は、白欠陥部内に、透過率がほぼ 0 % の第 2 遮光膜を堆積させるためのガスを供給するガス供給機構として機能する。

【 0 1 2 8 】

実施の形態 1 4 のオペレーティングコンソール 1 1 0 および制御ユニット 1 0 9 ならびに実施の形態 1 5 のオペレーティングコンソール 2 0 8 および制御ユニット 2 0 9 は、F I B ビームまたはレーザビームがフォトマスクに照射される位置を制御する制御手段として機能する。

## 【 0 1 2 9 】

その制御手段は、実施の形態 1 ～ 1 2 の欠陥の白欠陥の修正方法それぞれを実行するために、第 2 遮光膜を堆積した後、第 2 遮光膜の周辺部分に、第 2 遮光膜より透過率が大きな半透明部を形成するように、透明基板に F I B ビームまたはレーザビームを照射する制御を実行するためのプログラムが R O M に内蔵されている。

## 【 0 1 3 0 】

上記のように欠陥修正装置を機能させれば、白欠陥の修正を実現することができる。

## 【 0 1 3 1 】

実施の形態 1 4 または 1 5 の欠陥修正装置を、実施の形態 1 3 に示す透明基板上に半透明膜または遮光膜が形成されたフォトマスクの黒欠陥を修正する欠陥修正装置として用いる場合には、それぞれの装置は以下のように機能する。

## 【 0 1 3 2 】

実施の形態 1 4 の検出器 1 5 および実施の形態 1 5 の顕微鏡 2 1 5 は、半透明膜のパターンの大きさ、位置および形状を検出する検出器として機能する。また、実施の形態 1 4 のオペレーティングコンソール 1 1 0 および制御ユニット 1 0 9 ならびに実施の形態 1 5 のオペレーティングコンソール 2 0 8 および制御ユニット 2 0 9 は、前述の検出器により検出された欠陥の発生したパターンの位置、形状および寸法を認識し、その認識されたパターンと本来形成されるはずのパターンが完全に形成された欠陥のない場合の仮想パターンとを比較することで最適な欠陥の修正のためのデータを設定する手段として機能する。

## 【 0 1 3 3 】

また、実施の形態 1 4 のイオン源 1 0 1 または実施の形態 1 5 のレーザ発振器 2 1 0 は、前述の修正加工方法の設定により、パターンに黒欠陥部が発生している場合に、その設定に基づき黒欠陥部の修正に必要な領域に F I B ビームまたはレーザビームを照射する照射源として機能する。

## 【 0 1 3 4 】

また、実施の形態 1 4 のオペレーティングコンソール 1 1 0 および制御ユニッ

ト 1 0 9 ならびに実施の形態 1 5 のオペレーティングコンソール 2 0 8 および制御ユニット 2 0 9 は、フォトマスクに照射する F I B ビームまたはレーザビームの照射条件を制御する制御手段として機能する。

【 0 1 3 5 】

その制御手段は、実施の形態 1 3 に示す黒欠陥の修正方法を実行するために、黒欠陥およびその近傍の半透明膜または遮光膜が除去された部分に、半透明膜または遮光膜よりも透過率の大きな半透明部を形成するように、透明基板に F I B ビームまたはレーザビームを照射する制御を実行するプログラムが R O M に内蔵されている。

【 0 1 3 6 】

上記のように欠陥修正装置を機能させれば、黒欠陥の修正を実現することができる。

【 0 1 3 7 】

なお、本明細書においては、遮光膜または遮光部の透過率は 0 % ~ 6 % の範囲内であり、半透明膜または半透明部とは遮光膜または遮光部の透過率 ( 0 % ~ 6 % ) より高い透過率を有する膜または部分のことであり、透明基板とは、少なくとも半透明膜または半透明部よりも高い透過率を有する基板のことである。

【 0 1 3 8 】

また、前述された修正後のフォトマスクを用いて、公知の露光技術によりウエハ上のレジスト膜にフォトマスクのパターンを転写することにより、半導体装置を製造することが可能である。

【 0 1 3 9 】

図 3 3 は、図 3 1 に示すフォトマスクの修正装置の具体的な構成を説明するためのブロック図である。図 3 3 に示すように、フォトマスクの修正装置は、図 3 1 のイオン源 1 0 1 および磁気レンズ 1 0 3 等に対応するイオンビームオプティクス ( I O N B E A M O P T I C S ) が示されている。このイオンビームオプティクスは、アクセレーション ( Acceleration ) 、サプレッサー ( Suppressor ) 、エクストラクタ ( Extractor ) 、ファーストレンズ ( First Lens ) 、セカンドレンズ ( Second Lens ) 、ゲイン ( Gain ) 、バイアス ( Bias ) および検出器 ( Detector ) を備えてい

る。

#### 【0140】

アクセレーションは、サブレッサーおよびエクストラクタに電圧を印加することにより、イオンビームの打ち込み速度を決定するためのものである。サブレッサーは、イオン源101としてのアクセレーションの先端から出射される $Ga^{+}$ イオンのビームの量を決めるためのものである。エクストラクタは、イオンビームを取り出すことにより、イオンビームオブチクスから出射されるイオンビームの量を決めるためのものである。ファーストレンズおよびセカンドレンズは、ビームの広がり进行调整するためのものである。バイアスは、2次電子または2次イオンに正または負の電圧を印加し、2次電子または2次イオンを検出器へ当てるためのものである。ゲインは、バイアスと検出器との間に設けられ、2次電子または2次イオンを加速するためのものである。なお、検出器はワークチャンバ内に設けられ、マスク基板104に当って反射した2次電子または2次イオンを検出することにより、欠陥の位置、形状および大きさを画像データとして検出するためのものである。

#### 【0141】

図31の欠陥修正装置のビームチャンバ1000に相当するワークチャンバ（Work Chamber）は、マスク基板104が挿入され、マスク基板104上の欠陥が修正されるチャンバ1000に相当する。

#### 【0142】

マスク基板104は、ステージ107に載せられて、ワークチャンバ内に導入される。このステージ107は、XモータまたはYモータによりその平面的な位置が任意に変更される。また、ワークチャンバには、ロードロック（Load Lock）が設けられている。また、ワークチャンバ内の真空度を保持するために、バキュームポンプ（Vacuum Pump）が設けられている。また、イオンビームオブチクスには、イオンビームオブチクス内において発射されたイオンを引抜くためのブランキングアンプリファ（Blanking Amplifier）が設けられている。また、イオンビームを狙った位置に照射するために、イオンビームを偏向させるスキヤニングアンプリファ（Scanning Amplifier）が設けられている。

## 【 0 1 4 3 】

なお、ワークチャンバ内にはニュートライザ 1 0 6 が設けられている。また、ワークチャンバ内には、ガスリザーバ (Gas Reservoir) が設けられている。このガスリザーバは、図 3 1 の欠陥修正装置のガス供給部 1 3 0 に相当するものである。

## 【 0 1 4 4 】

また、図 3 1 のビーム光学系制御 H/W 1 0 8、制御ユニット 1 0 9 およびステージ制御 H/W 1 1 1 に相当するものとして、モータドライブボード (Motor Drive Board)、ラスタジェネレータボード (Raster Generator Board)、ニュートライザコントロールボード (Neutralizer Gun Control Board)、バキュームコントローラ (Vacuum Controller)、ホストコンピュータ (HOST COMPUTER) およびオペレーションインタフェースボード (Operation Interface Board) が設けられている。

## 【 0 1 4 5 】

モータドライブボードは、ステージに電氣的に接続されており、X モータおよび Y モータそれぞれを制御するためのものである。また、ラスタジェネレータボードは、ブランキングアンプリファおよびスキヤニングアンプリファそれぞれを制御するためのものである。

## 【 0 1 4 6 】

また、ニュートライザコントローラボードは、ニュートライザ 1 0 6 をコントロールするためのものである。また、バキュームコントローラは、バキュームポンプ (Vacuum Pump) およびガスリザーバを制御するためのものである。また、ホストコンピュータとフォトマスクに形成された欠陥を検出するための欠陥検出装置サーバとは通信可能に接続されている。

## 【 0 1 4 7 】

この欠陥検出装置サーバには、欠陥検出器により検出されたフォトマスク上の欠陥のデータ等が記録されている。また、オペレーションインタフェースボード (Operation Interface Board) は、オペレーションパネル (Operation Panel) に接続されている。このオペレーションパネルが、オペレーティングコンソール



1 1 0 に相当するものである。

【 0 1 4 8 】

オペレーションパネルには、観察画面、モニタ、キーボードおよびジョイスティックが設置されている。観察画面には、実際にマスク基板 1 0 4 に形成された欠陥の実画像が映し出される。また、モニタには、後述する修正レシピファイルおよび欠陥座標情報ファイルなどのデータが映し出される。それらの情報はキーボードまたはジョイスティックの操作により人為的に選択可能に構成されている。

【 0 1 4 9 】

次に、図 3 4 を用いて、図 3 3 の欠陥修正装置において行なわれる欠陥の修正作業の手順を説明する。なお、欠陥の評価のデータまたは欠陥の修正後の実験データから、表 1 を用いて後述するように欠陥修正時の欠陥修正装置の設定条件を決定しておく。また、そのデータは修正レシピとして欠陥修正装置のホストコンピュータに記録されている。

【 0 1 5 0 】

まず、ステップ S 1 1 において、修正レシピのファイルを作成する。次に、この修正レシピのファイルの修正手順プログラムに従って以下の項目の作業を行なう。

次に、ステップ S 1 2 において、欠陥を観察する。欠陥修正装置とは別体に設けられた欠陥検査装置から欠陥座標情報ファイル、たとえば後述する表 2 に示す欠陥座標ファイルをホストコンピュータに読込む。この欠陥座標情報ファイルに記録されたマスクに形成された欠陥の座標を、欠陥修正装置の座標系の座標に変換する。その変換された座標を用いて欠陥が観察できる位置にステージ 1 0 7 を移動させる。次に、修正レシピファイルから観察条件を読出す。その後、観察条件に基づいて欠陥修正装置のパラメータを自動的に決定する。前述の観察条件で欠陥部分の観察像を取得する。この観察像はモニタ上に映し出される。

【 0 1 5 1 】

次に、ステップ S 1 3 において欠陥の修正加工部分を指定する。このステップ

S 3 では、モニタ上の観察像中で欠陥部分を指定する。たとえば、欠陥がない場合に形成されるべき H T 金属膜のエッジ位置を指定する。欠陥タイプ（白欠陥、黒欠陥、エッジ欠陥、孤立欠陥など）を装置の操作者が判断することにより、予め作成されている修正レシピファイルが選択される。修正レシピファイルに規定された欠陥修正装置の設定条件が読出される。

【 0 1 5 2 】

それにより、欠陥修正装置のパラメータが自動的に設定される。たとえば、配線パターン内の断線白欠陥の修正では、まず、白欠陥用に作成していた修正レシピファイルが指定される。次に、修正レシピファイルには下記の内容が規定されている。その内容は、遮光領域のデポジション膜を形成するための欠陥修正装置の設定条件、半透明領域を形成するための欠陥修正装置の設定条件、および欠陥の加工順序である。

【 0 1 5 3 】

次に、S 1 4 においてフォトマスク上の欠陥の修正をスタートさせる。修正レシピに基づいて、修正部分の加工条件が確認され、その加工条件に基づいた修正のスタートの指示が出される。修正レシピで指定された加工順序に従って、修正レシピファイルで指定された加工条件で加工作業が進行する。

【 0 1 5 4 】

次に、ステップ S 1 5 において、修正後の欠陥部分の観察が行なわれる。修正加工完了後、たとえば、修正前の観察条件と同じ条件を用いて修正部分の画像データが取得される。修正加工部分の形状が合格であると判定されれば、そのまま作業を終了する。修正加工部分の形状が不合格であると判定された場合には、ステップ S 1 3 に戻り、再度修正部分の観察像を取得する。それにより、欠陥の修正の合否の判定が行なわれる。

【 0 1 5 5 】

この合否の判定は、画像上のデータを用いて人間により行なわれてもよいが、一定の基準を設けておき、その基準に達しているか否かをホストコンピュータが判断するものであってもよい。また、判定は、たとえば、観察像から修正部分の遮光領域の寸法および半透明領域の寸法を確認することにより、修正部分の遮光

領域の寸法および半透明領域の寸法それぞれが所定の寸法内に収まっているか否かを判別することにより行なわれる。ステップ S 1 5 において、合格と判定されればフォトマスクの欠陥の修正作業を終了する。

**【 0 1 5 6 】**

次に、図 3 5 を用いて、マスク欠陥修正装置の具体的な動作のフローチャートを説明する。まず、マスクロードのステップにおいて、次のような手順が実行される。オペレーションパネルのモニタ画面上で操作員によりロードボタンが選択される。それにより、モータドライブボード (Motor Drive Board) から指令信号が発せられ、その指令信号に基づいてステージ 1 0 7 がロードポジション (ロードロック内) へ移動する。次に、バキュームコントローラ (Vacuum Controller) からの指令信号に基づいて、バキュームポンプが動作する。

**【 0 1 5 7 】**

さらに、各バルブが開放される。ロードロックが、ある程度の真空状態になると、モータドライブボードからの指令信号に基づいてトランスポータでワークチャンバ内へステージ 1 0 7 が移動する。なお、ある程度の真空状態になったことは、バキュームコントローラに制御されているバキュームゲージにより感知される。

**【 0 1 5 8 】**

レシピ選択のステップでは次のような手順が実行される。オペレーションパネル上で予め設定された修正レシピが選択されると、ホストコンピュータ内のハードディスクから修正レシピのファイルがラスタージェネレーションボード等に読込まれる。この修正レシピには、ビーム電流量、ピクセル、修正時に使用するガスの種類および圧力等の条件が記録されている。

**【 0 1 5 9 】**

この修正レシピは表 1 に具体的に記載されている。たとえば、修正レシピには装置の加工パラメータ、装置観察パラメータおよび修正手順プログラムが記録されている。装置の加工パラメータとしては、遮光部形成パラメータおよび半透明部形成パラメータが設けられている。

**【 0 1 6 0 】**

【表 1】

修正レシピアイルNo.xx	装置加工パラメータ	遮光部 形成パラメータ	加速電圧	OOV
			電流量	OOA
			加工ピクセルサイズ	OOμm
			ガス種類	OO
			ガス圧	OOTorr
			修正エッジオフセット (仕上がり狙い位置)	マイナス OOum
			...	
		半透明部 形成パラメータ	加速電圧	OOV
			電流量	OOA
			加工ピクセルサイズ	OOμm
			ガス種類	OO
		...	ガス圧	OOTorr
			修正エッジオフセット (仕上がり狙い位置)	マイナス OOum
			...	
	装置観察パラメータ	観察モード	2次電子像	選択
			2次イオン像	
			加速電圧	OOV
			電流量	OOA
		装置パラメータ	精算回数	OO回
	修正手順プログラム	手順xx	1 観察像取得	
			2 欠陥を指定	
			3 遮光部形成(deposition)	
			4 半透明部形成(Ga <sup>+</sup> 注入)	
			5 観察像取得	
			...	

【0161】

それぞれの形成パラメータにおいては、ビームの加速電圧およびビームの電流値、欠陥を加工するためのピクセルのサイズ、チャンバ内に導入されるガスの種

類および圧力、さらに修正エッジオフセット（仕上り時のネガ寸法）が記録されている。また、装置観察パラメータとしては観察モードとして2次電子像または2次イオン像が選択され得るようになっており、装置パラメータとしては加速電圧、加速電流、および積算回数などが選択され得るようになっている。

#### 【0162】

また、修正手順プログラムとしては、1. 観察像取得、2. 欠陥指定、3. 遮光部形成 (Deposition)、4. 半透明部形成 ( $Ga^{+}$  注入) および5. 観察像取得などの各ステップの順番が記載されている。

#### 【0163】

次に、欠陥座標データ取得ステップにおいては、次のような手順が実行される。オペレーションパネルのキーボードで欠陥検査データIDが入力されると、欠陥検査データIDはオペレーションインタフェースボード (Operation Interface Board) を経由しホストコンピュータに入力される。それにより、ホストコンピュータが別の欠陥検査装置サーバから欠陥の検出器により検出された欠陥の座標データを取得する。

#### 【0164】

次に、座標原点合わせのステップにおいては次のような手順が実行される。ホストコンピュータが欠陥検査装置サーバから欠陥座標データを受取ると、モータドライブボードからの指令信号に基づいて、ステージが欠陥座標の原点へ移動する。オペレーションパネルに設置された観察画面上で座標原点が指定されることにより、その座標原点位置がホストコンピュータ内のメモリに記録される。

#### 【0165】

次に、アライメント合わせのステップにおいては次のような手順が実行される。オペレーションパネルに設置されたジョイスティックが用いられ、モータドライブボードの指令信号に基づいてステージ107の所定の基準点1がアライメントポイント1に移動する。また、ステージ107の所定の基準点2がアライメントポイント2へ移動する。これらの移動が観察画面上で行なわれ、アライメントポイントの登録が行なわれる。なお、アライメントポイント1およびアライメントポイント2の2点の位置を欠陥部分の所定の基準点に位置合わせすることにより

、マスク基板 1 0 4 は欠陥部分の位置が観察画面上で固定された状態となる。

【 0 1 6 6 】

次に、欠陥へのステージ 1 0 7 の移動のステップにおいては次のような手順が実行される。オペレーショナルパネルのキーボードで欠陥ナンバーが入力される。その入力された欠陥ナンバーの入力情報は、オペレーションインタフェースボードを経由し、ホストコンピュータからモータドライブボードへ送信される。その送信情報に基づきステージ 1 0 7 が欠陥部分の位置をイオンビームが照射される位置に移動させる。

【 0 1 6 7 】

欠陥の囲い込みのステップにおいては、次のような手順が実行される。操作員によりオペレーションパネルの観察画面上にで欠陥を囲い込むようにエリアが指定される。それにより、ラスタジェネレイタボードから所定のスキャンエリアを指定する制御信号がスキャニングアンプリファに送信される。

【 0 1 6 8 】

次に、修正スタートのステップにおいては、次のような手順が実行される。操作員によりオペレーションパネルのモニタ画面上で修正スタートが選択される。それにより、ワークチャンバ内に修正レシピでガスの使用が指定された場合には、その指定されたガスがガスリザーバから供給される。また、ラスタジェネレイタボードからの指令信号により、ブランキングアンプリファでblankされていたビームがアンblankされる。その結果、横にはじかれていたイオンビームは、下方に落ちて、欠陥を有するフォトマスク基板 1 0 4 上の欠陥部分に照射される。さらに、ラスタジェネレイタボードからの指令信号により、スキャニングアンプリファでイオンビームがコントロールされるため、修正を必要とする領域にのみイオンビームが走査される。

【 0 1 6 9 】

次に、アンロードのステップにおいては次のような手順が実行される。オペレーションパネルのモニタ画面上のアンロードボタンが操作員により押される。それにより、モータドライブボードによりステージ 1 0 7 がロードロック内のロードポジションへ移動する。バキュームコントローラからの指令信号に基づいて、

バーキュウムポンプが稼動する。さらに、各バルブが閉鎖する。ロードロック内がある程度の真空度になると、モータドライブボードからの指令信号によりトランスポートでステージ 1 0 7 がワークチャンバの外部へ移動する。これにより全ての手順が終了する。なお、ある程度の真空状態になったことは、バキュームコントローラに制御されているバキュームゲージにより感知される。

【0 1 7 0】

なお、欠陥検査装置サーバからホストコンピュータに入力されるデータとしては、表 2 に示す欠陥座標情報ファイルがあり、その欠陥座標情報ファイルにはナンバーが記録されている。そのナンバーごとに、検査 I D、検査時の座標原点位置の記録、欠陥の番号、欠陥座標および欠陥形状分類（白欠陥または黒欠陥など）の記録データが記録されている。

【0 1 7 1】

【表 2】

欠陥座標情報ファイルNo.xx	・検査ID
	・検査時の座標原点位置の記録
	・欠陥番号
	・欠陥座標
	・欠陥形状分類(白、黒欠陥)の記録
	...

【0 1 7 2】

なお、図 3 3 ～図 3 5 を用いて、F I B 照射装置の制御システムについて説明したが、図 3 3 のイオンビームオプティクス、ブランキングアンプリファおよびスキャニングアンプリファの部分が図 3 2 のレーザ発信器 2 1 0、ミラー 2 1 1 およびハーフミラー 2 1 2、2 1 3 等に置き換えられれば、それ以外の部分は図 3 3 の F I B 照射装置と同様の制御システムで、図 3 2 のレーザ C V D 装置の機能を発揮させることができる。

【0 1 7 3】

また、今回開示された実施の形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。本発明の範囲は上記した説明ではなくて特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべて

の変更が含まれることが意図される。

【 0 1 7 4 】

【発明の効果】

本発明によれば、HTマスクの欠陥修正において、欠陥の修正部分の加工精度のマージンを大きくすることができるフォトマスク、フォトマスクの製造方法、およびフォトマスクの修正装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 比較例のHTマスク上の配線パターンの白欠陥の修正方法を説明するための図である。

【図 2】 比較例の白欠陥の修正方法において、波長 248 nm の光が用いられた場合のウェハ上のパターン寸法変動率と修正オフセットとの関係を示すグラフである。

【図 3】 比較例の白欠陥の修正方法において、波長 193 nm の光が用いられた場合のウェハ上のパターン寸法変動率と修正オフセットとの関係を示すグラフである。

【図 4】 実施の形態 1 の HT マスク上の配線パターンの白欠陥の修正方法を説明するための図である。

【図 5】 実施の形態 1 の白欠陥の修正方法において、ウェハ上のパターン寸法変動率と修正オフセットとの関係を示す一例のグラフである。

【図 6】 実施の形態 1 の白欠陥の修正方法において、ウェハ上のパターン寸法変動率と修正オフセットとの関係を示す他の例のグラフである。

【図 7】 半透明領域の幅の変動に対するウェハ上のパターンの寸法変動と半透明領域を通過する光の位相と透明領域を通過する光の位相との差との関係を示す図である。

【図 8】 フォトマスクに形成された白欠陥の一例を示す図である。

【図 9】 図 8 に示す白欠陥が修正されたフォトマスクを示す図である。

【図 10】 フォトマスクに形成された白欠陥の一例を示す図である。

【図 11】 図 10 に示す白欠陥が修正されたフォトマスクを示す図である。



【図 1 2】 フォトマスクに形成された白欠陥の一例を示す図である。

【図 1 3】 図 1 2 に示す白欠陥が修正されたフォトマスクを示す図である

。

【図 1 4】 フォトマスクに形成された白欠陥の一例を示す図である。

【図 1 5】 図 1 4 に示す白欠陥が修正されたフォトマスクを示す図である

。

【図 1 6】 フォトマスクに形成された白欠陥の一例を示す図である。

【図 1 7】 図 1 6 に示す白欠陥が修正されたフォトマスクを示す図である

。

【図 1 8】 フォトマスクに形成された白欠陥の一例を示す図である。

【図 1 9】 図 1 8 に示す白欠陥が修正されたフォトマスクを示す図である

。

【図 2 0】 実施の形態 2 のフォトマスクに形成されたホールパターンの白欠陥を示す図である。

【図 2 1】 図 2 0 に示す白欠陥が修正されたフォトマスクを示す図である

。

【図 2 2】 比較例の H T マスクの配線パターンの白欠陥が修正された場合に、その修正部分に形成される半透明領域の幅とフォトマスクを透過する光の強度との関係を示す図である。

【図 2 3】 比較例のホールエッジの白欠陥の修正オフセットを説明するための図である。

【図 2 4】 本実施の形態のホールエッジの白欠陥の修正オフセットを説明するための図である。

【図 2 5】 透明基板の透過率と透明基板に注入されたイオンのドーズ量との関係を示すグラフである。

【図 2 6】 F I B 照射のドーズ量と石英からなる透明基板の表面のエッチング深さとの関係を説明するためのグラフである。

【図 2 7】 白欠陥の修正方法を説明するためのフローチャートである。

【図 2 8】 実施の形態 1 0 のフォトマスクの修正方法において、半透明領

域が2種類の透過率を有することを説明するための図である。

【図29】 実施の形態13のフォトマスクの修正方法で修正される黒欠陥の一例を説明するための図である。

【図30】 実施の形態13の修正方法で修正された黒欠陥を説明するための図である。

【図31】 実施の形態14の欠陥修正装置を説明するための図である。

【図32】 実施の形態15の欠陥修正装置を説明するための図である。

【図33】 実施の形態14の欠陥修正装置の具体例を説明するための図である。

【図34】 図33の欠陥修正装置を用いて欠陥を修正するフローの概要を示す図である。

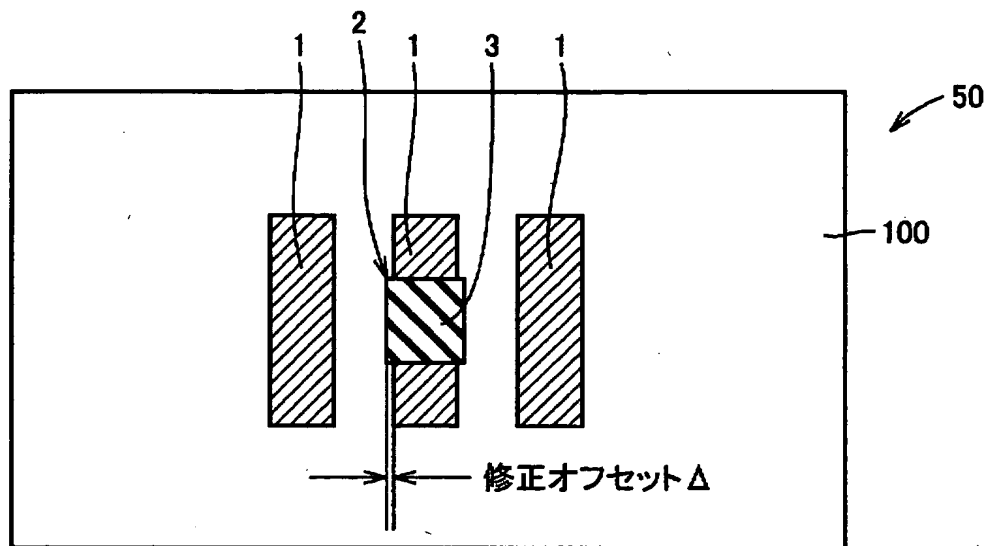
【図35】 図33の欠陥修正装置を用いて欠陥を修正するフローの具体例を示す図である。

【符号の説明】

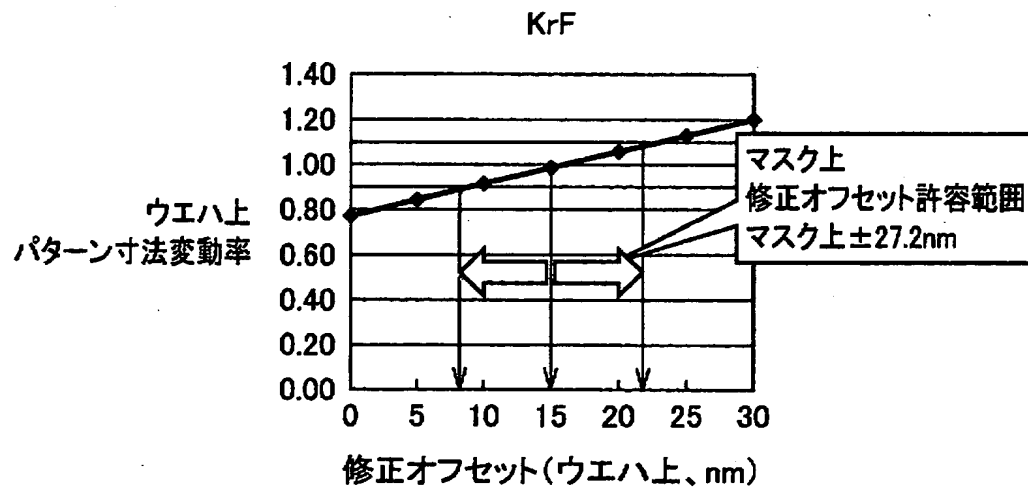
11 遮光領域、12 半透明領域、50 フォトマスク、100 透明基板

【書類名】 図面

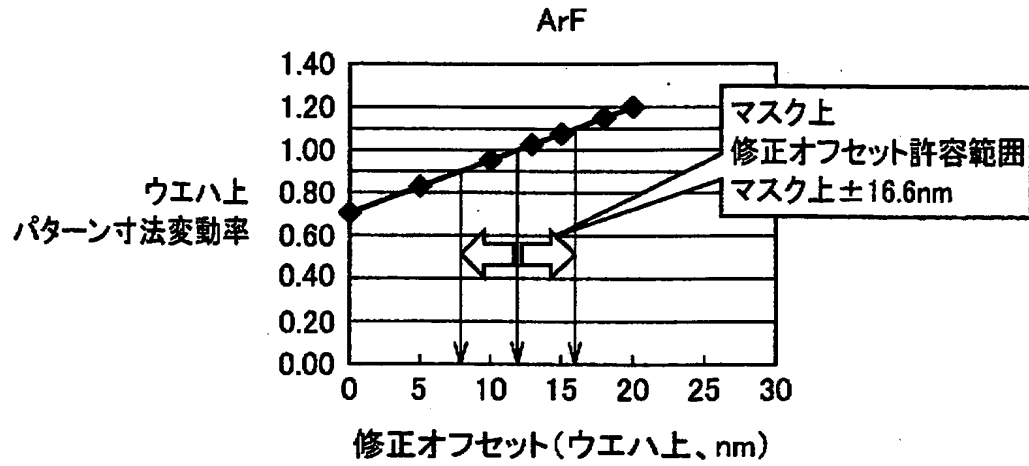
【図 1】



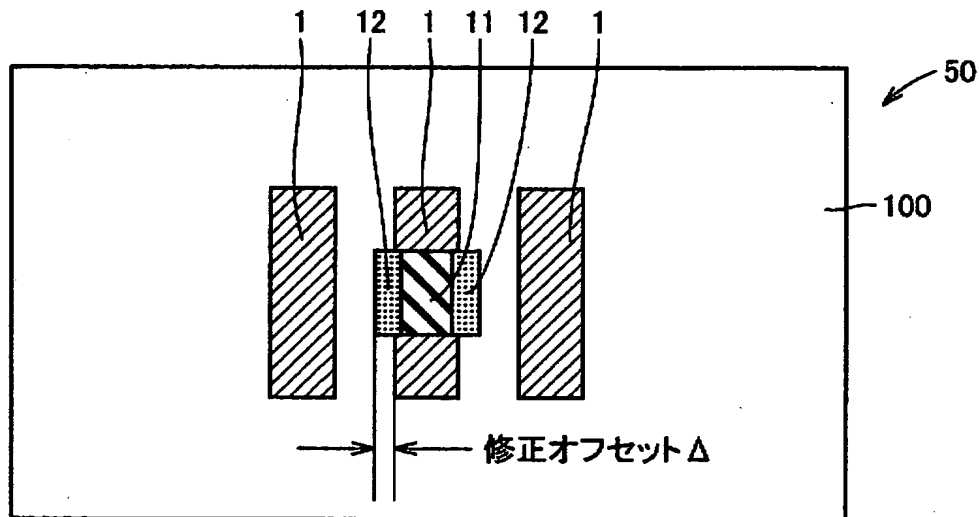
【図 2】



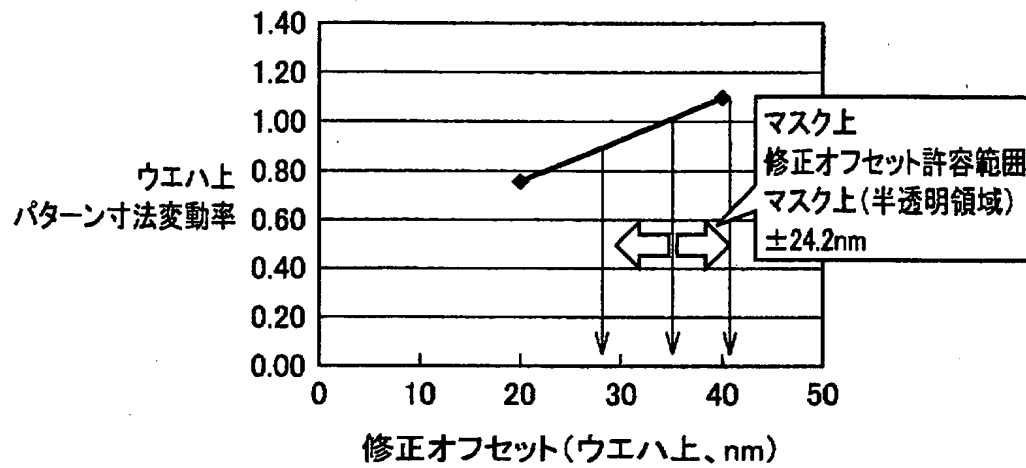
【図 3】



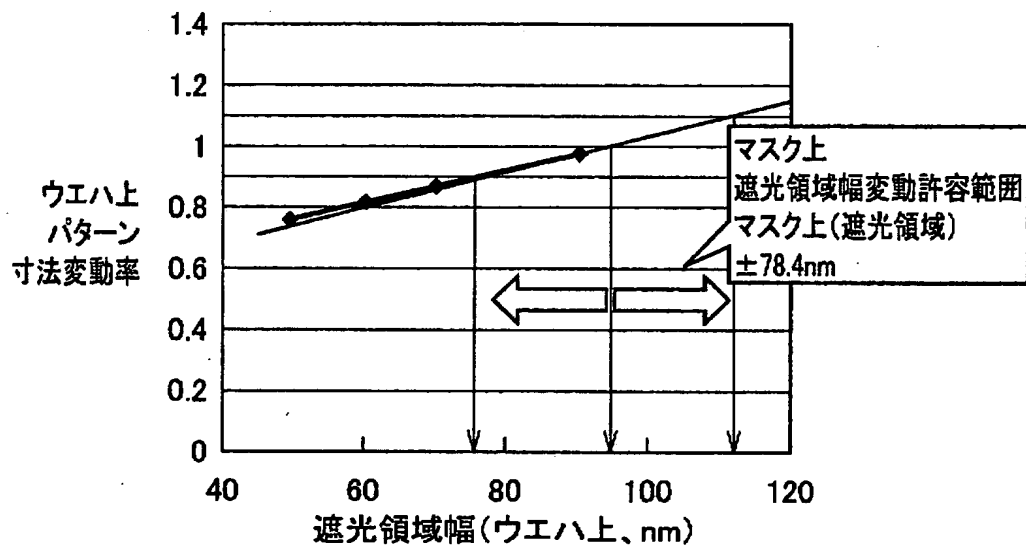
【図 4】



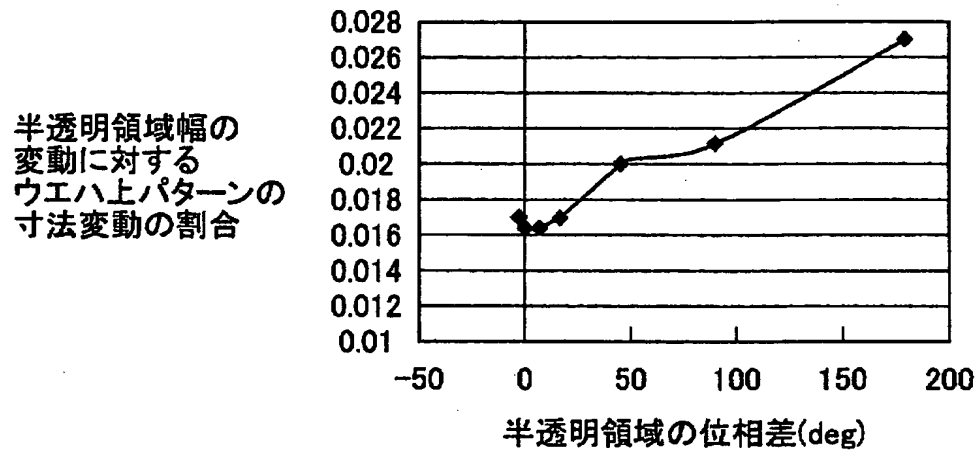
【図 5】



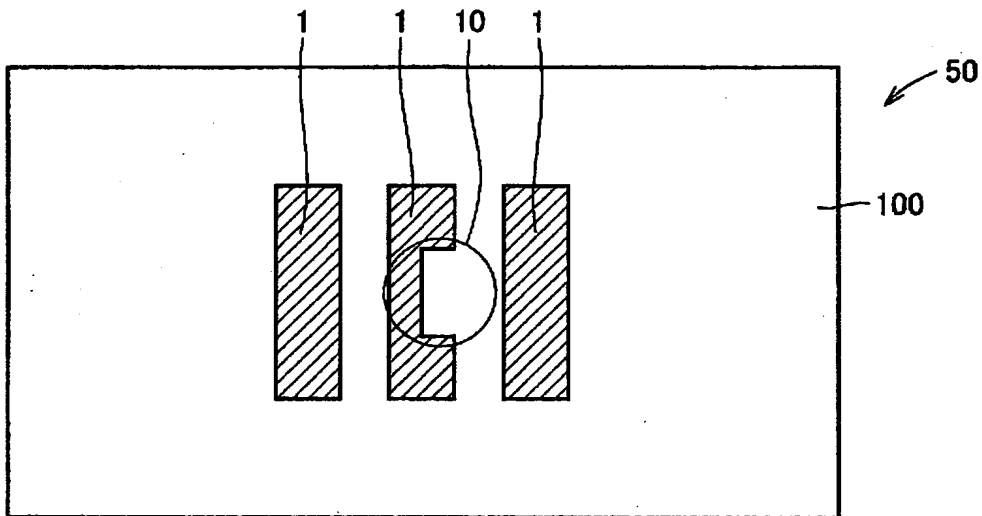
【図 6】



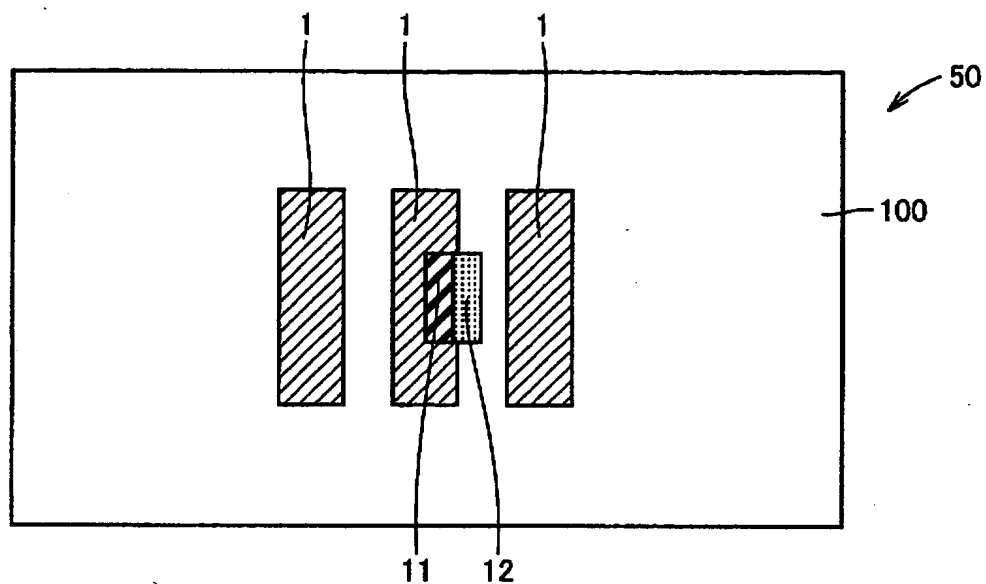
【図 7】



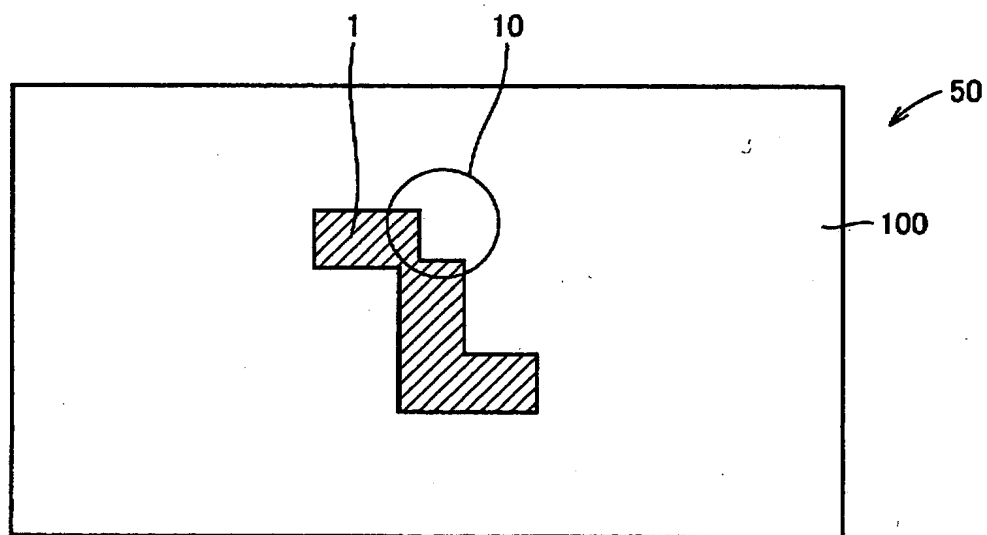
【図 8】



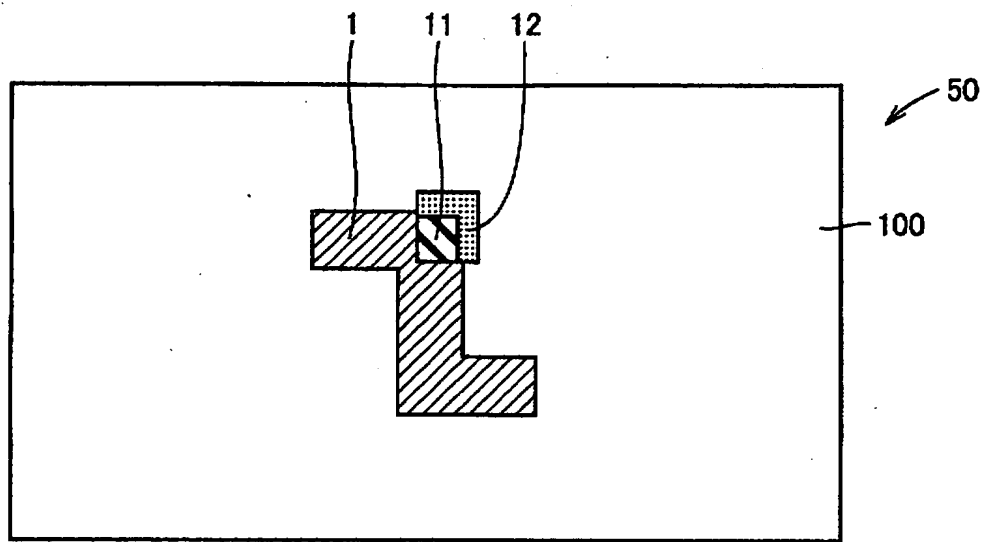
【図 9】



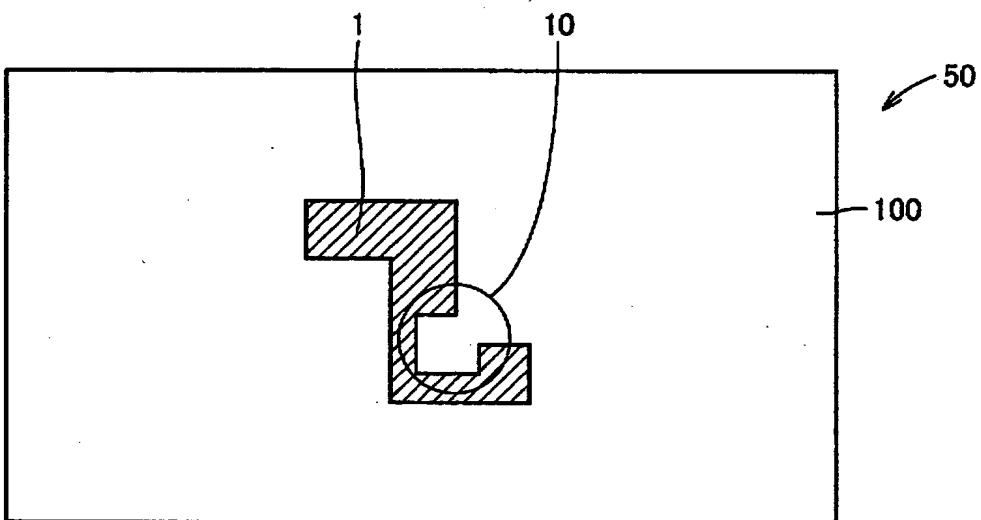
【図 1 0】



【図 1 1】

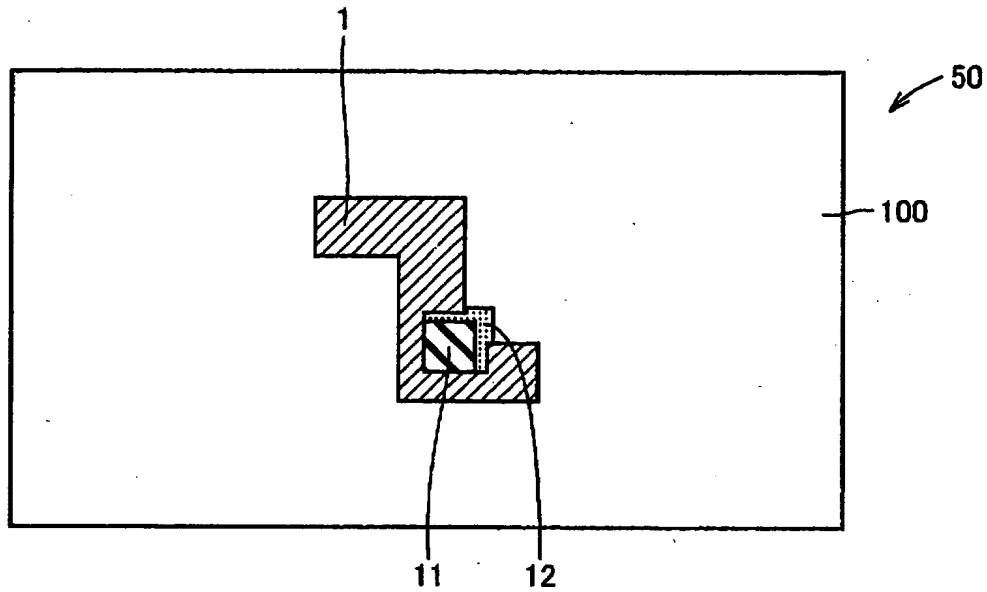


【図 1 2】

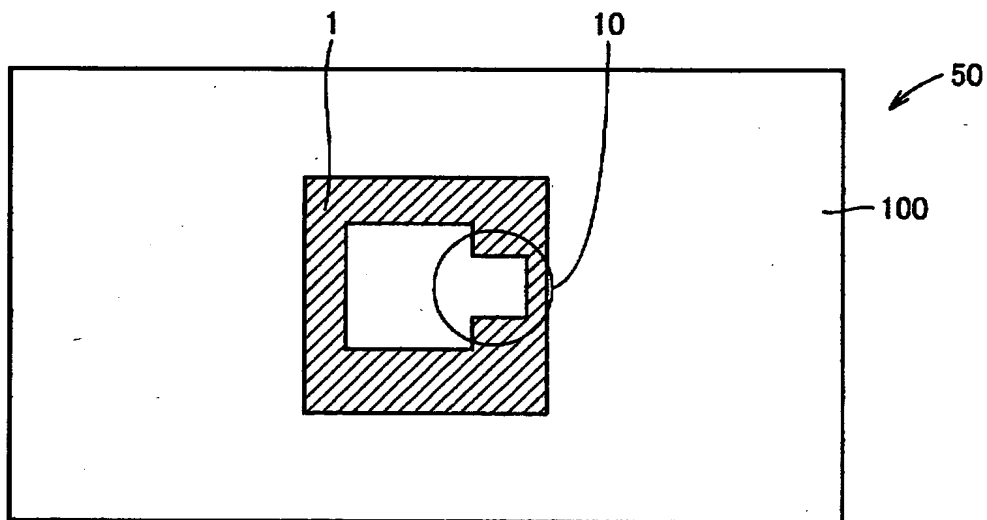




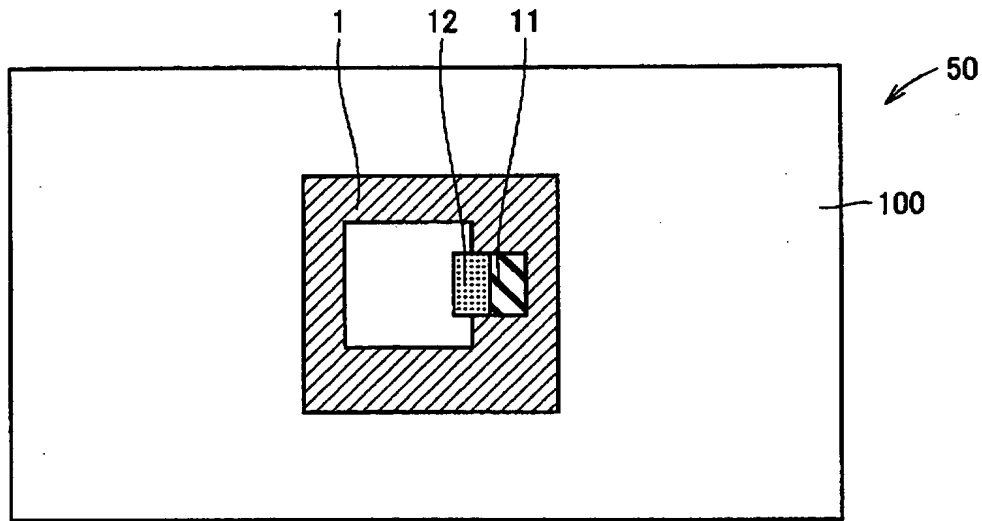
【図 13】



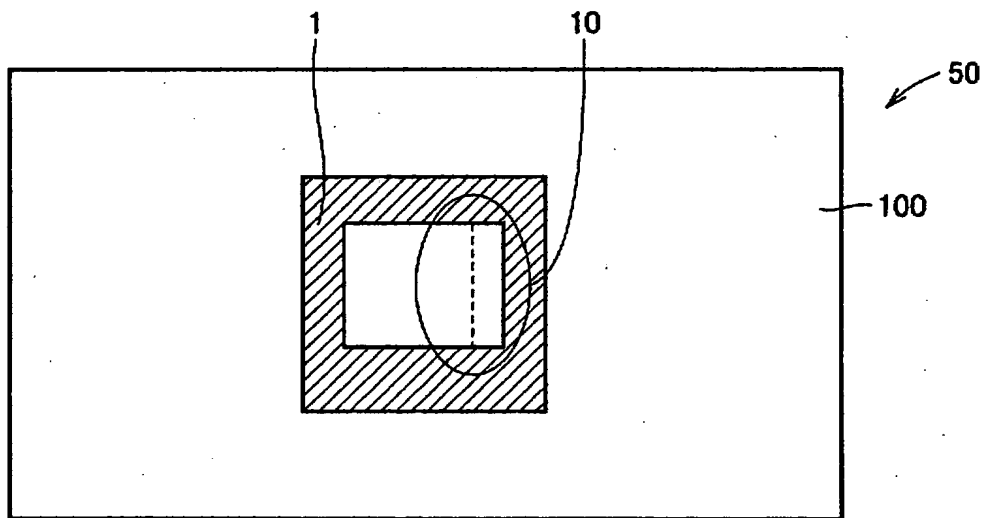
【図 14】



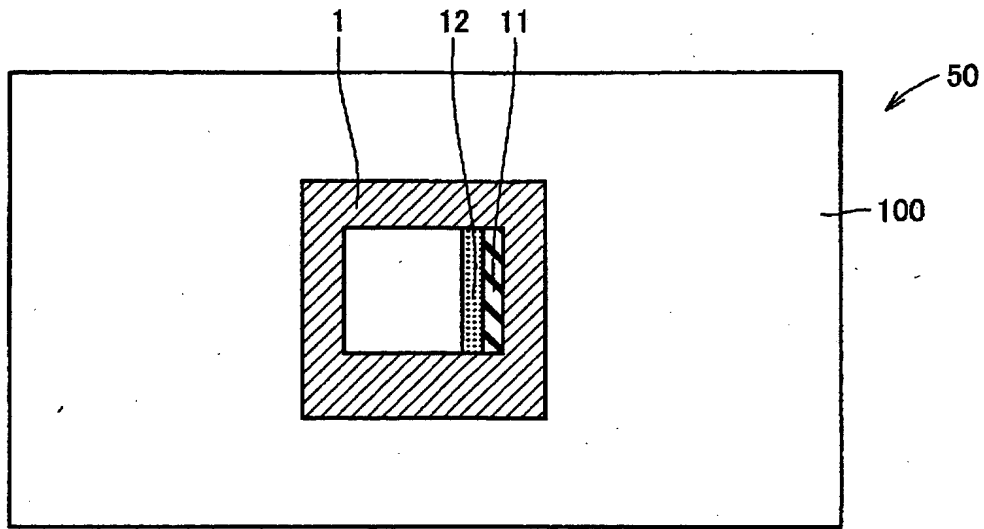
【図 15】



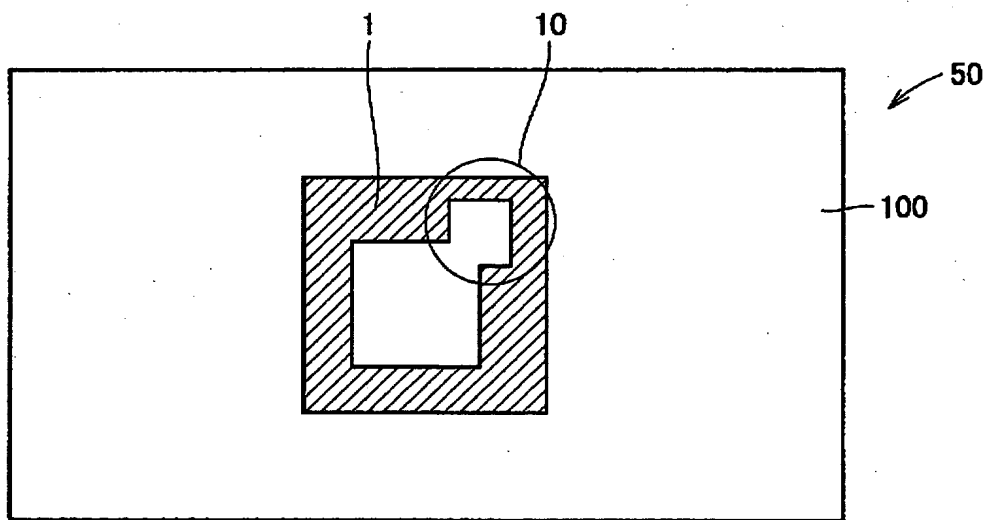
【図 16】



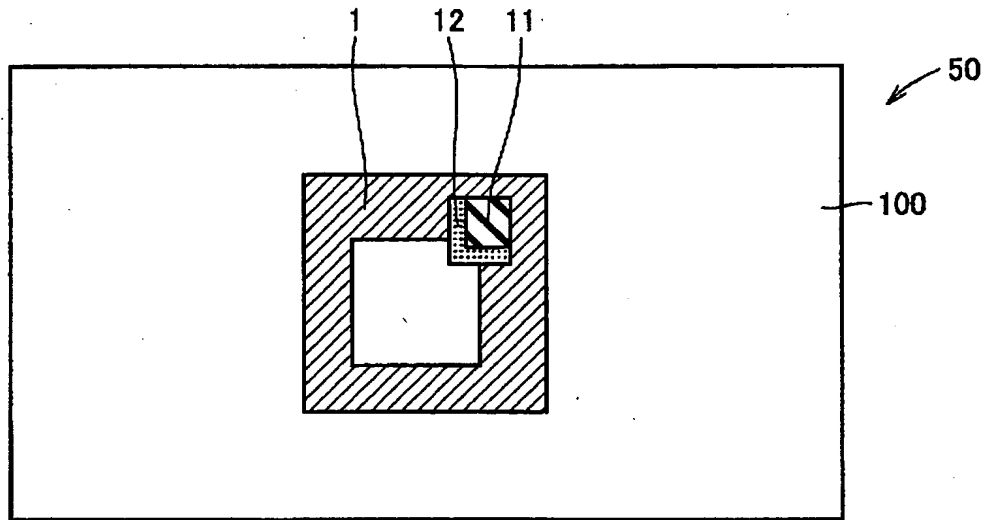
【図 17】



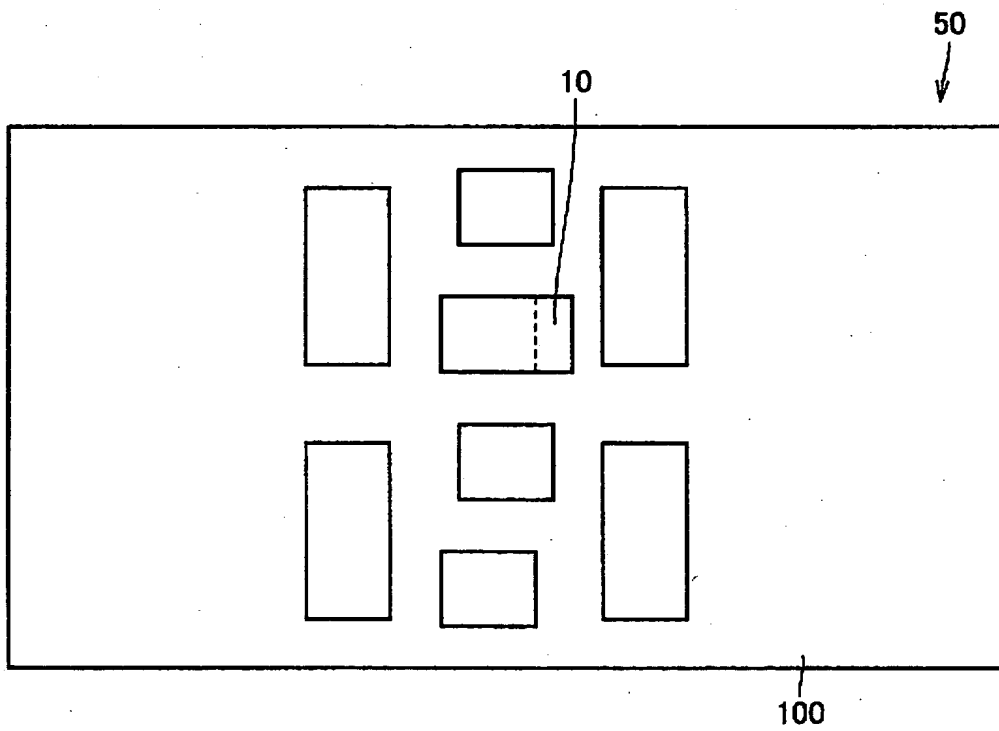
【図 18】



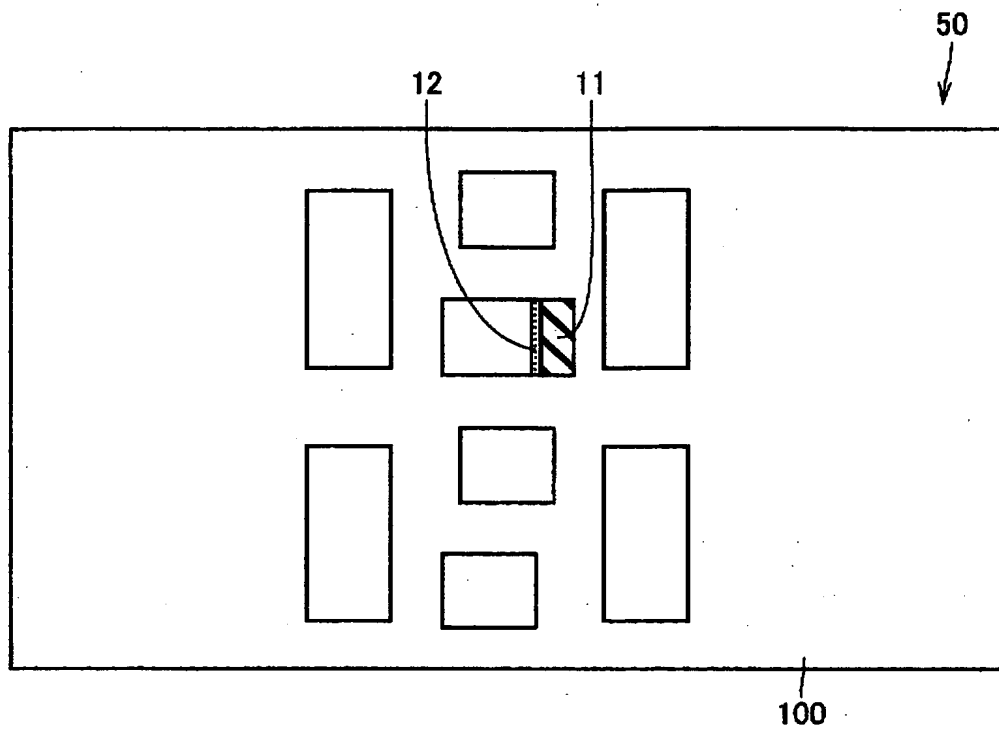
【図 1 9】



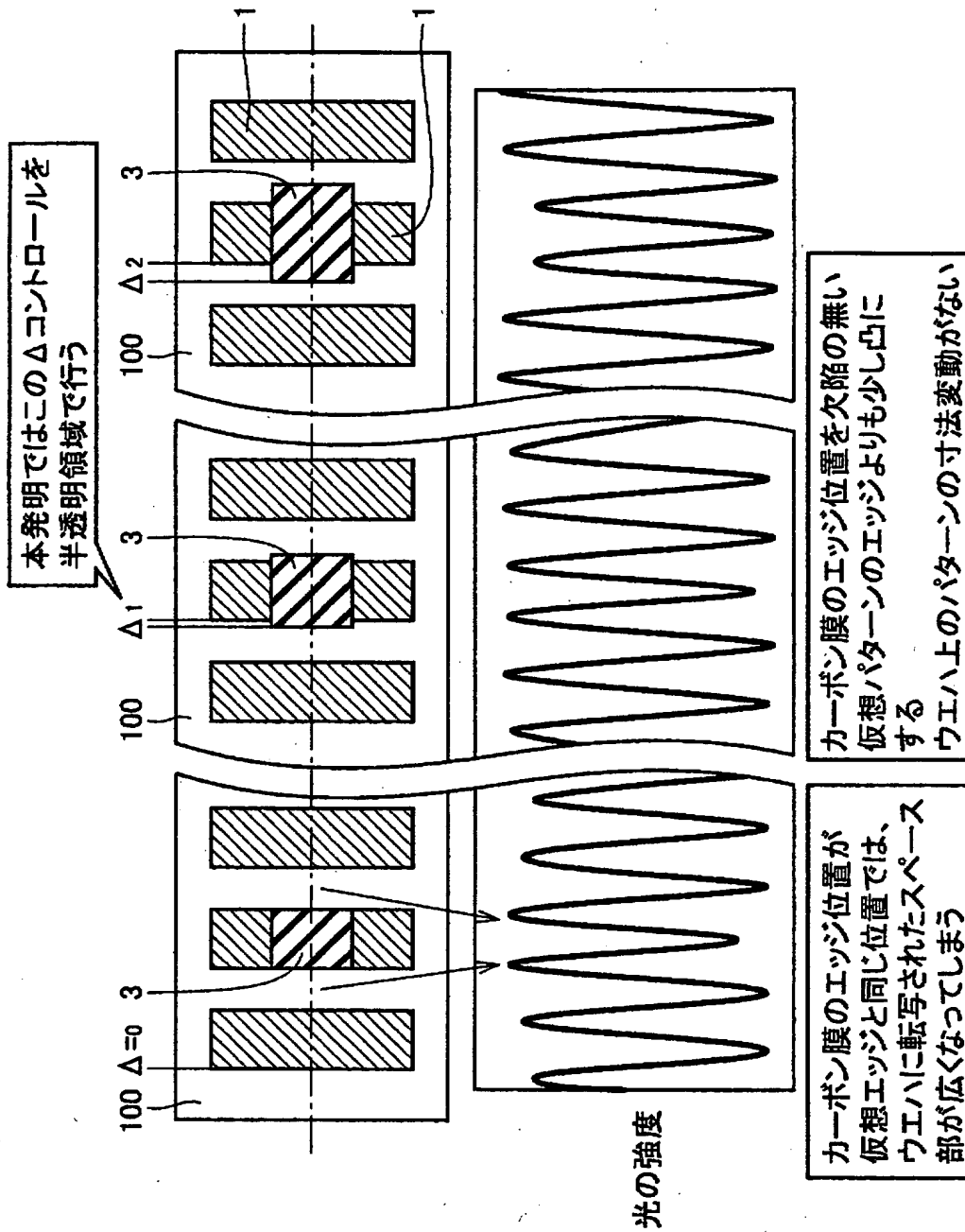
【図 2 0】



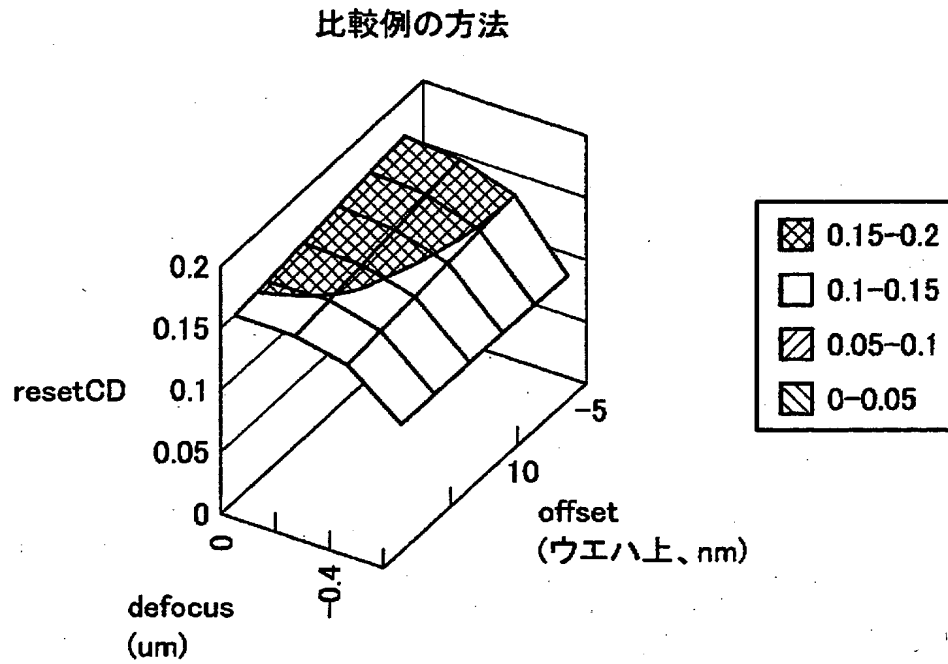
【図 2 1】



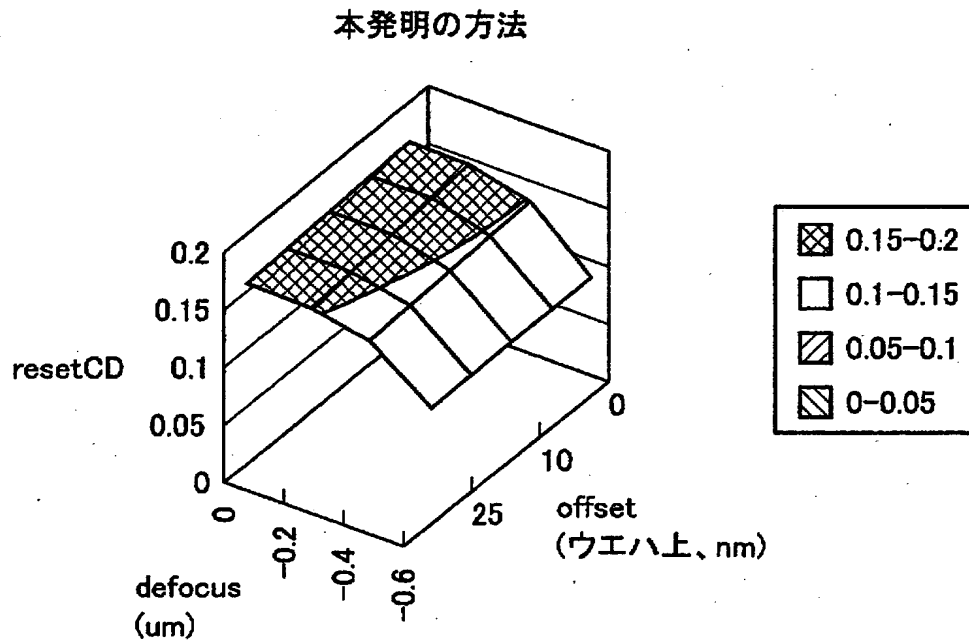
【図 22】



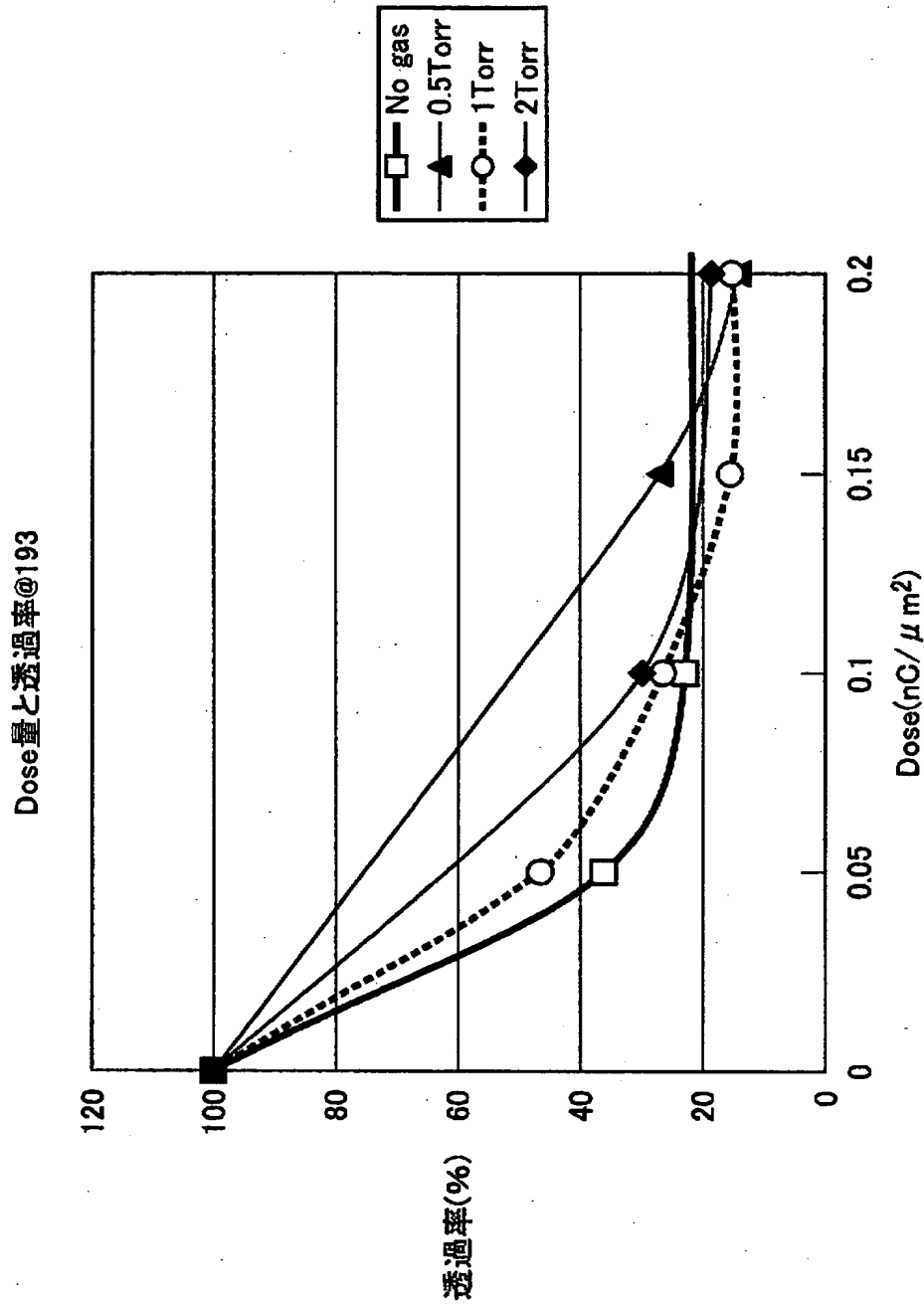
【図 2 3】



【図 2 4】

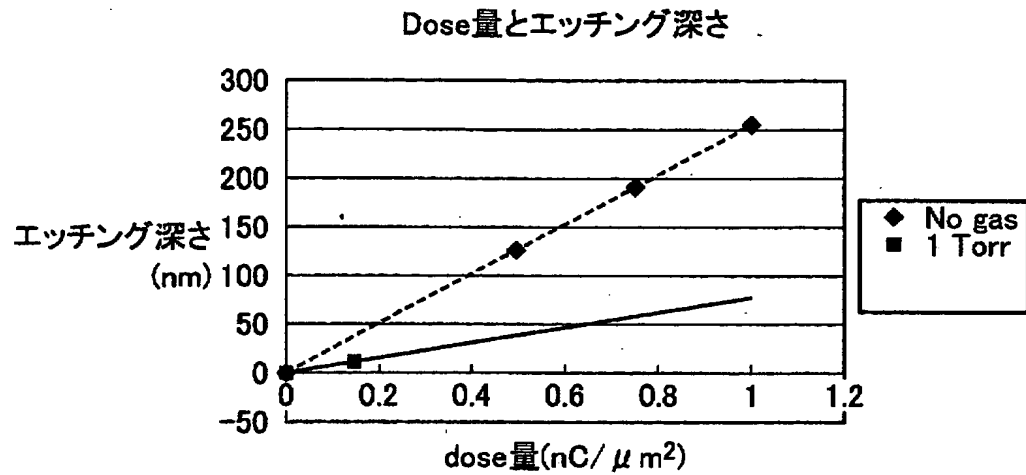


【図 25】

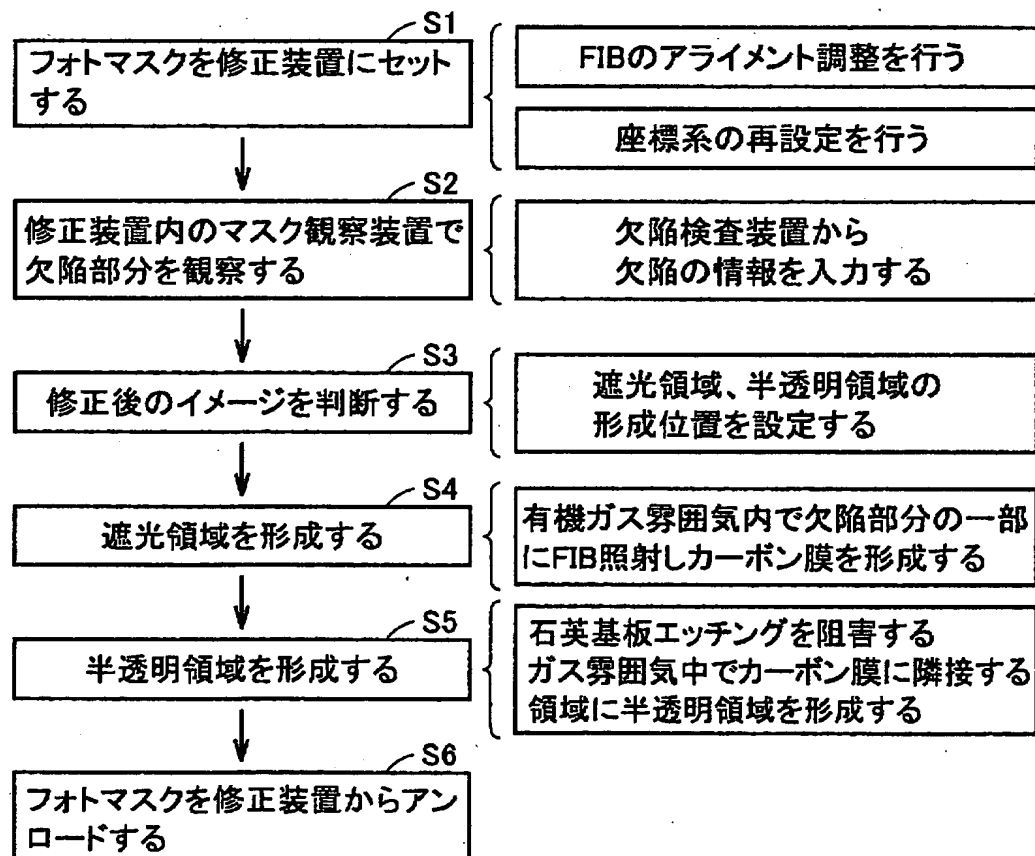




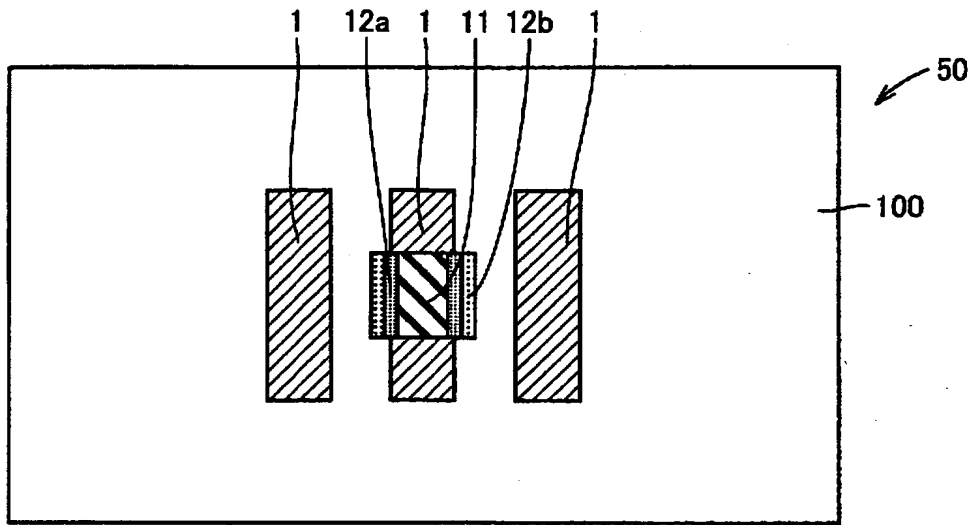
【図 2 6】



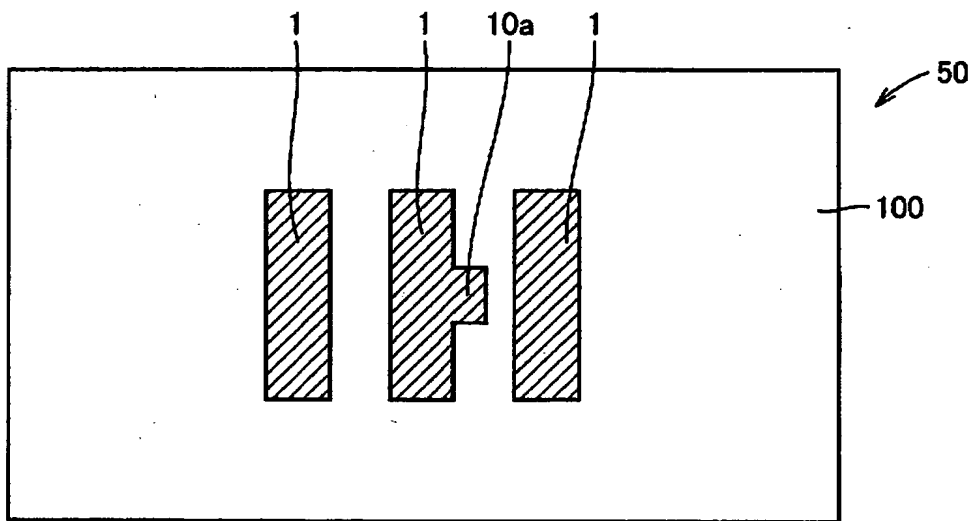
【図 2 7】



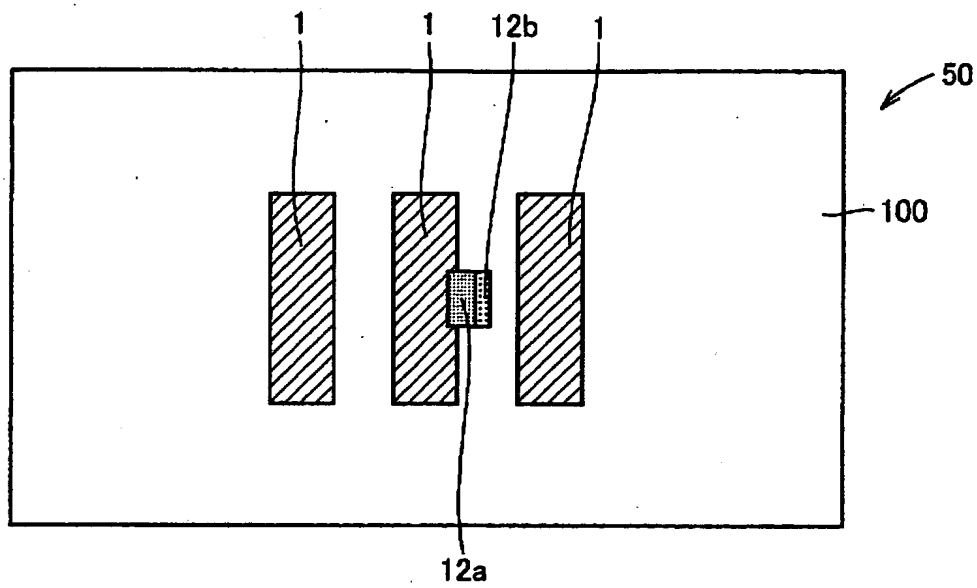
【図 2 8】



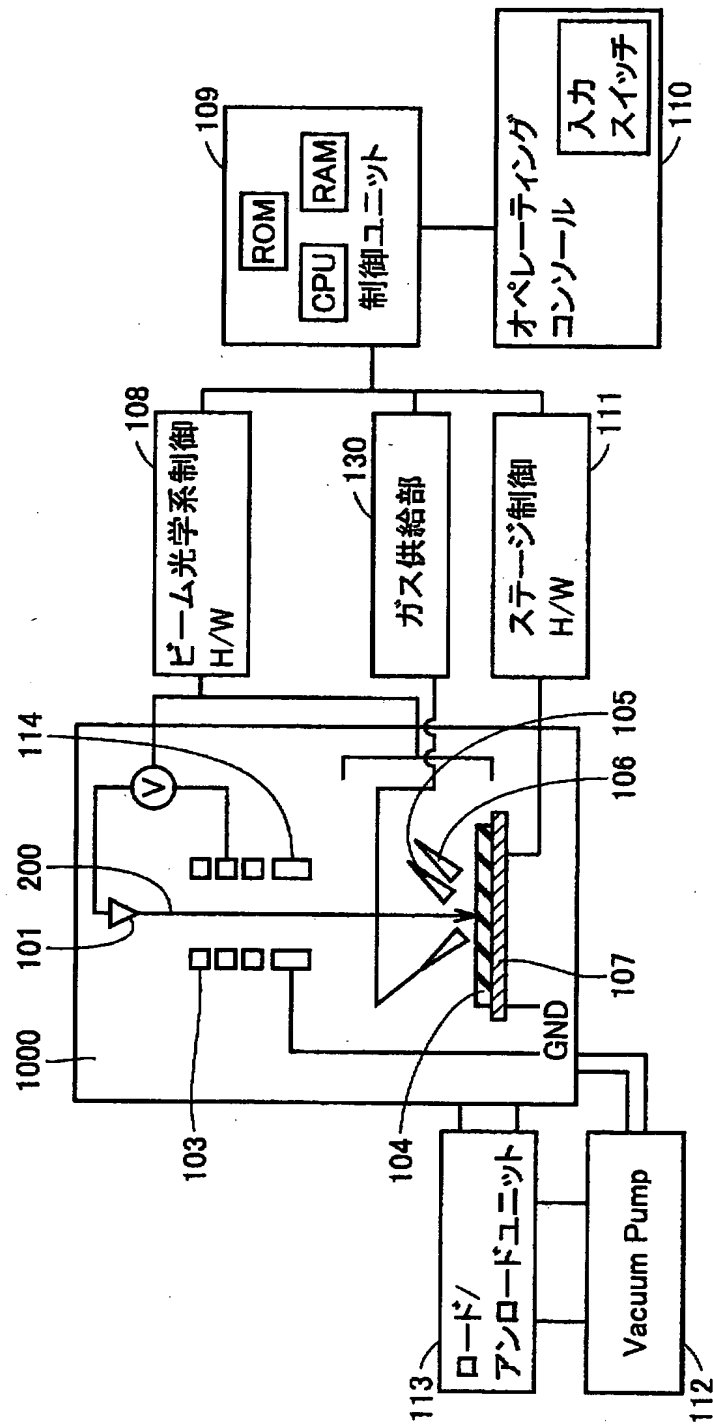
【図 2 9】



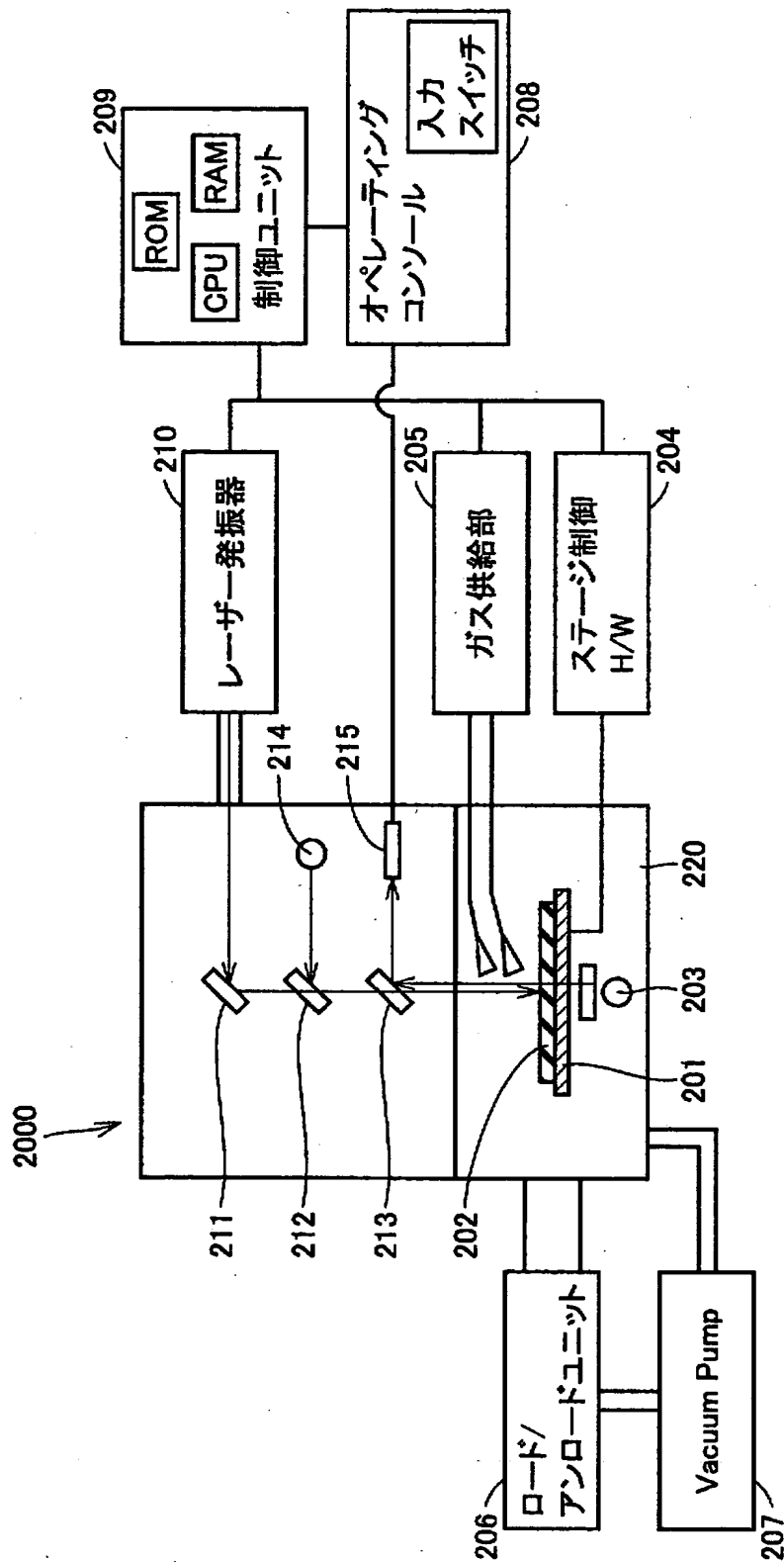
【図 3 0】



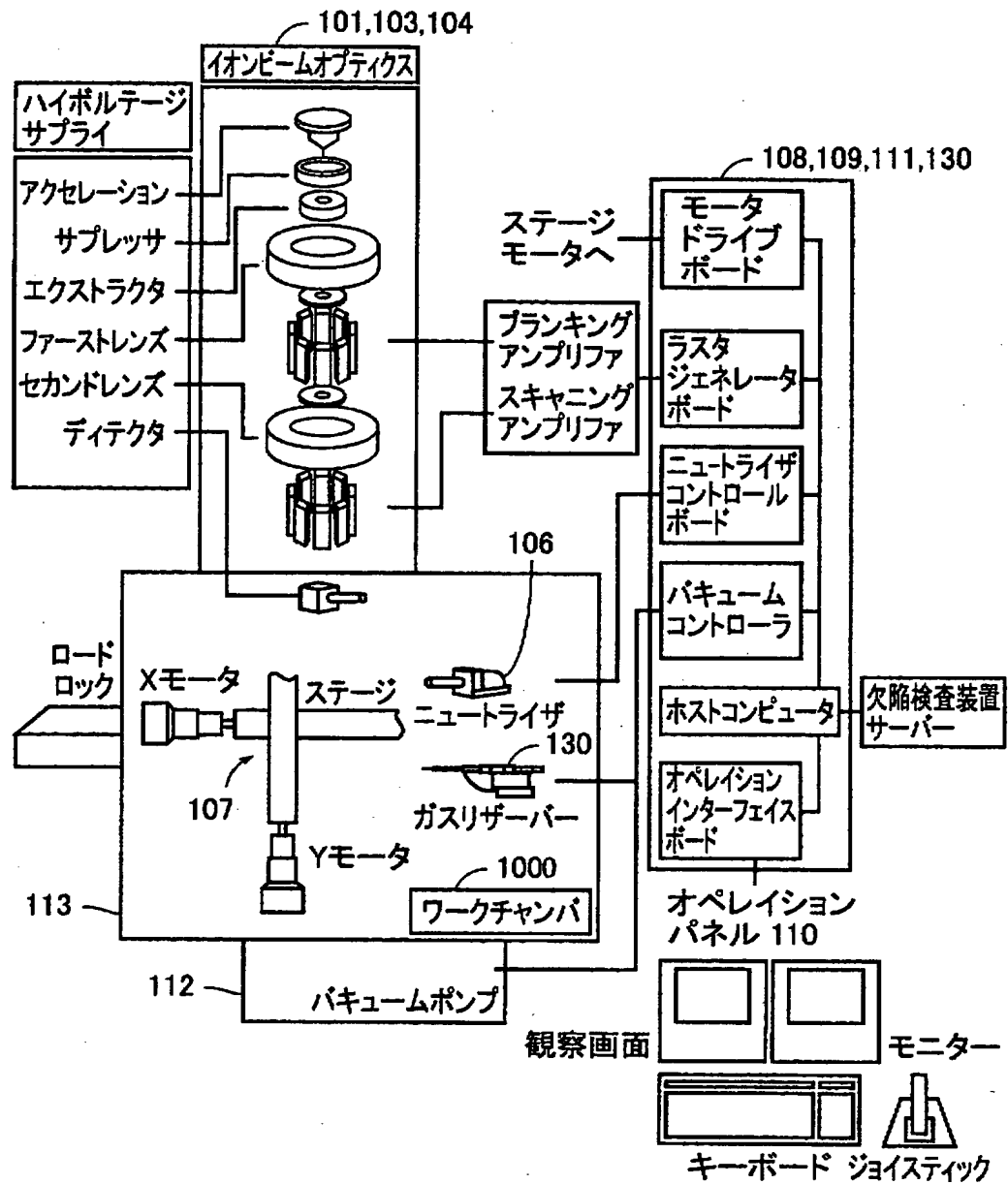
【図 31】



【図 32】

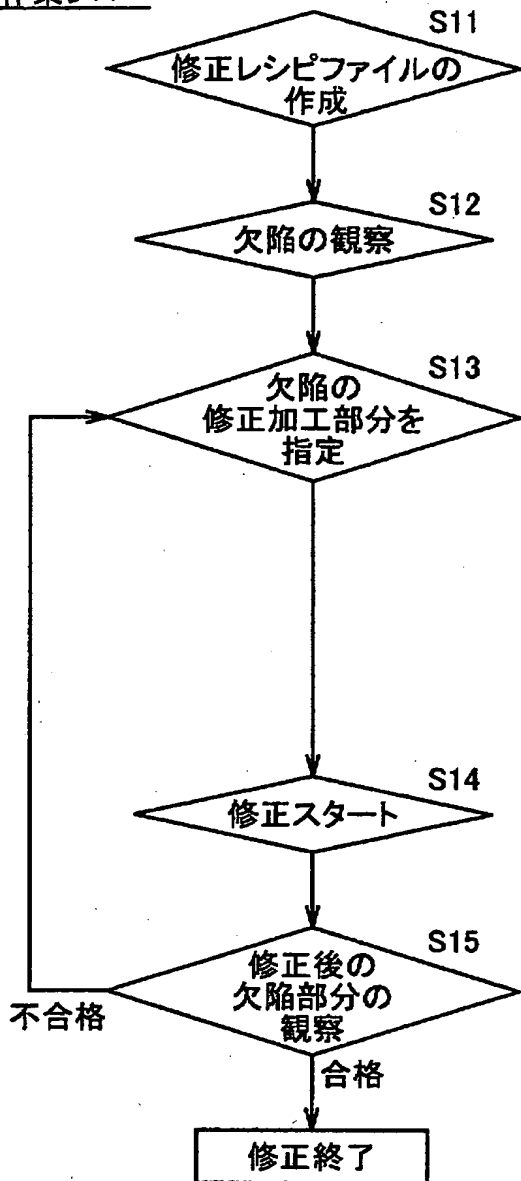


【図 33】



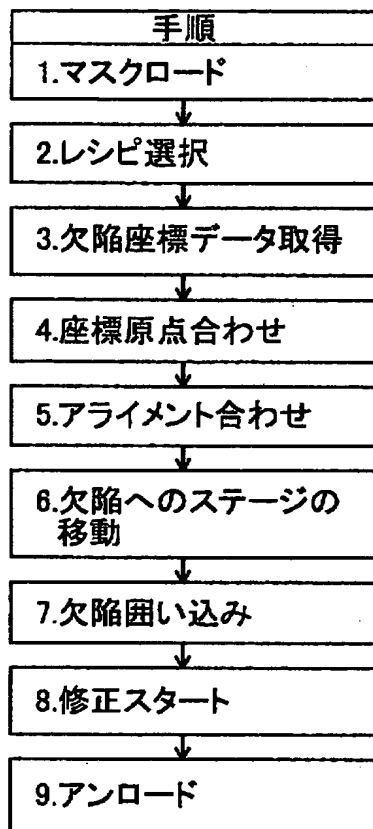
【図 3 4】

作業フロー



【図 3 5】

## マスク欠陥修正装置動作フローチャート





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 H T マスクの欠陥修正において、欠陥の修正部分の加工精度許容マージンを大きくすることができるフォトマスク等を提供する。

【解決手段】 H T の配線パターン 1 の白欠陥の中心部分には、透過率が透過率が 0 ～ 2 % の範囲内の遮光領域 1 1 が形成される。また、遮光領域 1 1 に隣接した領域であって、欠陥が場合の仮想パターンのエッジの内側の領域からそのエッジの外側の領域まで、透過率が 1 0 ～ 2 5 % の範囲内の半透明領域 1 2 が形成される。

【選択図】 図 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006013]

1. 変更年月日 1990年 8月24日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号  
氏 名 三菱電機株式会社

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000003193]

1. 変更年月日 1990年 8月24日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都台東区台東1丁目5番1号  
氏 名 凸版印刷株式会社